

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Институт наук о Земле

Быковская Софья Александровна

**Нижне-Бурейская ГЭС: инженерно-геологические условия
возведения земляной плотины и ее противофильтрационного
элемента**

Выпускная квалификационная работа бакалавра

По направлению 020700 «Геология»

«К ЗАЩИТЕ»

Научный руководитель:
к.г.-м.н., ст. преподаватель Н.А. Перевощикова

« ____ » _____ 2016

Санкт-Петербург

2016

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О БУРЕЙСКОМ КАСКАДЕ ГЭС	5
3.1 Бурейская ГЭС.....	6
3.2 Нижне-Бурейская ГЭС	8
2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА	17
2.1 Географическое положение и рельеф	17
2.2 Гидрография	17
2.3 Климат.....	20
3. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА	21
3.1 Геологическая изученность района.....	21
3.2 Геоморфология.....	21
3.3 Тектоника и история геологического развития района.....	22
3.4 Геологическая характеристика района гидроузла	23
3.5 Гидрология.....	27
4. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ	29
УЧАСТКА РАБОТ	29
4.1 Геологическое строение участка работ.....	29
4.2 Гидрогеология	32
4.3 Физико-механические свойства грунтов	34
4.4 Тектоника и трещиноватость участка гидроузла.....	38
4.5 Инженерно- геологические процессы.....	42
4.6 Сейсмичность участка гидроузла	43
5. ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫЙ ЭЛЕМЕНТ В ТЕЛЕ ПЕРЕМЫЧКИ КОТЛОВАНА ВЫПОЛНЕННЫЙ СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ».....	44
5.1 Применение грунтоцементных конструкций в гидротехническом строительстве	44
5.2 Применение глиноцементобетона при возведении «стены в грунте» перемычки котлована бетонных сооружений	46

5.3 Лабораторное определение физико-механических характеристик монолитов ГЦБ из скважин перемишки котлована.....	52
5.4 Исследование ГЦБ по эталонным образцам	53
5.5 Исследование компонентного состава ГЦБ	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	64
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	65

ВВЕДЕНИЕ

Строительство гидроэлектростанций является ответственным мероприятием, по причине сложности возведения комплекса сооружений, а также влияния ряда факторов в период эксплуатации ГЭС.

История знает множество примеров, когда аварии на ГЭС приводили не только к значительным экономическим потерям, но и к человеческим жертвам. Во многом переход сооружений в аварийное и предаварийное состояние происходил по причине недостаточного изучения природных условий размещения ГЭС. Именно поэтому особое внимание при строительстве гидротехнических сооружений необходимо уделять инженерно-геологическим особенностям участка строительства.

Нижне-Бурейская ГЭС (НБГЭС) является одной из немногих строящихся в настоящее время гидроэлектростанций России. В ходе строительства ГЭС были использованы инновационные методики, позволяющие во многом сократить проектные сроки строительства, а также повысить надежность дальнейшей эксплуатации ГЭС. Впервые в практике гидротехнического строительства на территории РФ в насыпных грунтах и русловом аллювии тела временных перемычек котлована противофильтрационный элемент (ПФЭ) был выполнен способом «стена в грунте» (без устройства суглинистого ядра).

Целью дипломной работы является изучение особенностей инженерно-геологических условий и проектных решений по возведению земляной плотины Нижне-Бурейской ГЭС, в том числе ее ПФЭ

Поставленные задачи в рамках научно-исследовательской работы:

- 1) изучение комплекса Бурейского каскада ГЭС, в том числе строительства новой гидроэлектростанции - Нижне-Бурейской ГЭС;
- 2) оценка инженерно-геологических условий строительства Нижне-Бурейской ГЭС (НБГЭС);
- 3) исследование материала **глиноцементобетона** – противофильтрационного элемента (ПФЭ) временной перемычки строящихся бетонных сооружений и возможного ПФЭ земляной плотины.

За помощь, а также за обучение в процессе работы автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю кандидату геолого-минералогических наук, старшему преподавателю Перовошиковой Наталье Андреевне. За предоставленные материалы и инициативное содействие автор благодарит ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Веденеева».

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О БУРЕЙСКОМ КАСКАДЕ ГЭС

Бурейский каскад ГЭС — комплекс гидравлических электростанций в России, расположен на реке Бурей Амурской области (рис. 1.1). Каскад состоит из двух ступеней: первая — Бурейская ГЭС, которая в 2009 году была выведена по проектную мощность в 2010 МВт и выработкой 7,10 млрд кВт·ч; вторая ступень — строящаяся Нижне-Бурейская ГЭС, проектной мощностью 320 МВт и выработкой 1,6 млрд кВт·ч (рис. 1.2).



Выкопировка с административной
карты Амурской области
м-ба 1:1250000

Рис.1.1 Обзорная карта района работ Бурейского каскада ГЭС (Отчет 1035-М1-040-От, 2014)

Собственником Бурейской ГЭС является ОАО «РусГидро», которая ведет строительство и Нижне-Бурейской ГЭС. Бурейская ГЭС и Нижне-Бурейская ГЭС спроектированы институтом «Ленгидропроект».



Рис 1.2 Каскад ГЭС на реке Бурея (с сайта *blog.rushydro.ru*)

3.1 Бурейская ГЭС

Бурейская ГЭС — гидроэлектростанция, расположенная на реке Бурея, в Амурской области у посёлка Талакан (рис.1.3). Крупнейшая электростанция на Дальнем Востоке России. Водохранилище ГЭС расположено на территории двух субъектов федерации — Амурской области и Хабаровского края. Основные сооружения Бурейской ГЭС расположены в Талаканском створе реки, расположенном в 174,5 километрах от устья Буреи. Основное строительство ГЭС велось в период с 1978 по 2007 год.

Бурейская ГЭС представляет собой мощную высоконапорную гидроэлектростанцию приплотинного типа. Конструктивно сооружения ГЭС разделяются на плотину, здание ГЭС, открытое распределительное устройство (ОРУ) и здание комплектного распределительного устройства (КРУЭ). В гидроузле отсутствуют судопропускные сооружения, в связи с чем, речные суда через него проходить не могут.



Рис.1.3 Бурейская ГЭС (с сайта korenyuki.livejournal.com)

Бетонная гравитационная плотина ГЭС имеет длину 744 м и высоту 140 м. Устойчивость и прочность плотины обеспечивается ее собственным весом с опорой на скальное ложе реки. Максимальный статический напор плотины — 122 м. Плотина сконструирована из трех видов бетона: верхняя часть выполнена из высококачественного вибрированного бетона, центральная часть — из малоцементного укатанного бетона, а низовая грань — из вибрированного морозостойкого бетона. В качестве основного противofiltrационного элемента предусмотрена глубокая цементационная завеса по оси плотины в сочетании с дренажом низовой части основания. Использование такого составного профиля является отличительной особенностью конструкции плотины Бурейской ГЭС по сравнению с другими гравитационными плотинами, построенными в СССР.

Здание гидроэлектростанции имеет классическую приплотинную конструкцию с установленными 6 гидроагрегатами мощностью 335 МВт каждый, с радиально-осевыми турбинами. Плотина ГЭС образует крупное Бурейское водохранилище горного типа с относительно малой площадью затопления. Площадь водохранилища при нормальном подпорном уровне (НПУ) — 750 км². В результате организации водохранилища Бурейской ГЭС было затоплено около 640 км² земель. В период подготовки к созданию водохранилища была произведена частичная лесочистка. Из зоны затопления было переселено 388 семей из трёх посёлков лесозаготовителей. Кроме того, создание водохранилища привело к локальным изменениям местного климата в зоне, прилегающей к водохранилищу и нижнему бьефу. Произошло

увеличение безморозного периода на 10 - 12 дней со сдвигом его в сторону осени, снизилась жёсткость климата, возросла влажность воздуха.

В процессе строительства была доработана конструкция эксплуатационного водосброса плотины, как с точки зрения его эффективности, так и оптимальной технологии строительства. В настоящее время на Бурейской ГЭС ведутся работы по берегоукреплению нижнего бьефа (по материалам burges.rushydro.ru).

Ввод в эксплуатацию Бурейской ГЭС позволил решить множество задач, среди них:

- 1) обеспечение электроэнергией дефицитные регионы юга Дальнего Востока;
- 2) повышение надёжности электроснабжения и обеспечение равномерности электрической нагрузки ОЭС Востока;
- 3) сокращение завоза в регион органического топлива (угля) в количестве 5,2 млн тонн, предотвращение выброса в атмосферу большого количества углекислого газа и загрязняющих веществ;
- 4) предотвращение наводнения в поймах рек Буреи и среднего Амура, что позволяет использовать дополнительные 15 тыс. га земли в сельском хозяйстве;
- 5) обеспечение возможности экспорта электроэнергии в Китай.

3.2 Нижне-Бурейская ГЭС

Вторая ступень каскада - Нижне-Бурейская ГЭС (НБГЭС) — строящаяся гидроэлектростанция у посёлка Новобурейский в Амурской области. Нижне-Бурейская ГЭС является контррегулятором Бурейской ГЭС. Проектная мощность станции - 320 МВт (4 гидроагрегата), планируемая среднегодовая выработка - 1650 млн. кВт.ч.

Строительство станции ведётся ОАО «РусГидро» с 2010 года, пуск первых гидроагрегатов был запланирован на 2015 год. НБГЭС является крупнейшей гидроэлектростанцией России, строительство которой было начато в постсоветское время.

Электронергией Нижне-Бурейской ГЭС, в соответствии с подписанными соглашениями, будут снабжаться такие объекты, как вторая очередь нефтепровода «Восточная Сибирь — Тихий океан», Эльгинское угольное месторождение, космодром «Восточный». Выработка станцией возобновляемой электроэнергией позволит предотвратить сжигание около 700 тысяч тонн условного топлива в год.

Кроме того, ввод в эксплуатацию Нижне-Бурейской ГЭС позволит решить многие проблемы, такие как:

- 1) сглаживание суточных колебания уровня воды в реке, образующиеся при работе мощной Бурейской гидроэлектростанции;
- 2) снятие всех ограничений в режиме работы Бурейской ГЭС, обеспечивая допустимые режимы изменения уровня воды в нижнем течении Буреи и в среднем течении Амура;
- 3) ликвидация зимних подтоплений ряда посёлков, расположенных в нижнем бьефе этой станции;
- 4) исключение опасных зон повышенных вибраций в работе гидроагрегатов Бурейской ГЭС;
- 5) повышение защиты нижнего бьефа Бурейской ГЭС в случае аномально высоких сбросов.

Исследования гидроэнергетического потенциала Буреи начались ещё в 1932 году. В 1959 году была разработана схема каскада ГЭС на Бурее, где впервые появилась Нижне-Бурейская ГЭС (названная в схеме Долдыканской), в 1978 году для Нижне-Бурейской ГЭС был выбран створ. Проект Нижне-Бурейской ГЭС, как составной части Бурейского гидроэнергетического комплекса, был разработан институтом «Ленгидропроект» в 1985 году, прошёл все необходимые экспертизы и был утверждён в 1986 году.

В 2007 году были начаты работы по корректировке проекта, результатом которых стало существенное изменение технических решений. Вместо трёх гидроагрегатов по 107 МВт было принято размещение четырёх агрегатов по 80 МВт; правобережная земляная плотина заменена на бетонную плотину; изменена схема выдачи мощности — вместо открытых распределительных устройств (ОРУ) 110 и 220 кВ введено КРУЭ 220 кВ. В 2008 году состоялись общественные слушания по оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) Нижне-Бурейской ГЭС, в 2011 году скорректированный проект был одобрен Главгосэкспертизой России.

Строительство станции началось 27 августа 2010 года — в этот день прошла церемония закладки первого кубометра бетона, в которой принял участие премьер-министр России Владимир Путин. Начались работы подготовительного этапа — строительство автодороги к створу станции протяжённостью 4,1 км и линии электропередачи напряжением 6 кВ, расширение территории перевалочной базы для размещения строительной инфраструктуры, подготовка территории под жилую застройку (по материалам nbges.rushydro.ru).

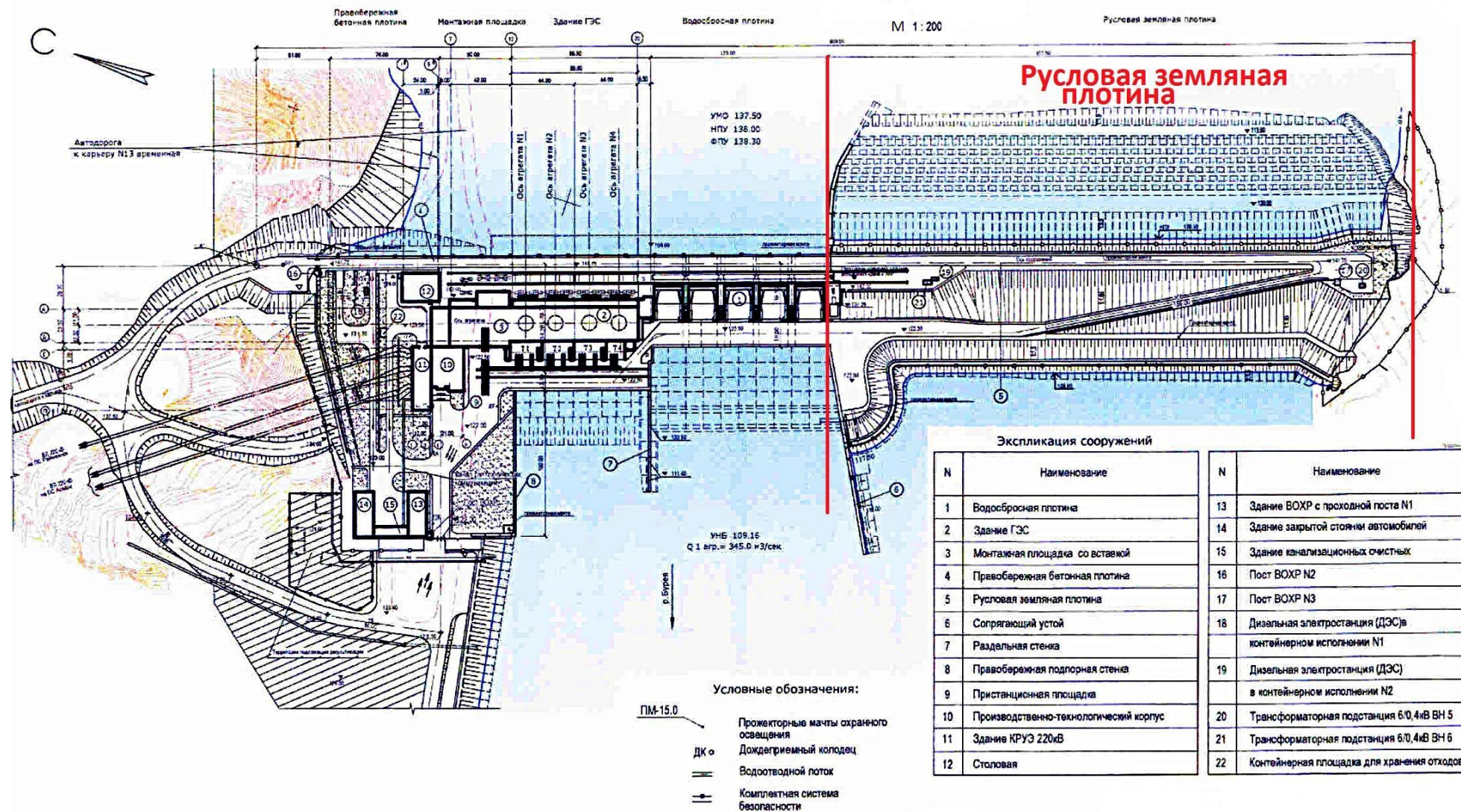


Рис.1.4 Генеральный план Нижне-Бурейского гидроузла (Отчет 1351, 2010)

Нижне-Бурейская ГЭС спроектирована как средненапорная русловая гидроэлектростанция (здание ГЭС входит в состав напорного фронта) (рис. 1.4).

Большая часть напорного фронта (общая длина 745,5 м) будет создана при помощи русловой грунтовой плотины с противофильтрационным ядром из суглинка, длиной 400 м и максимальной высотой 42 м (рис.1.5). Соединение земляной и водосливной плотин будет осуществляться при помощи бетонного сопрягающего устоя.

Водосливная плотина - бетонная, предназначена для сброса расходов воды, превышающих пропускную способность турбин станции. Длина плотины — 123 м, максимальная высота 47,75 м. Оборудована пятью поверхностными водосбросами, перекрываемыми сегментными затворами, оперирование которыми производится с помощью гидроприводов. Также запроектирована установка ремонтных затворов, подъём и опускание которых будет производиться с помощью козлового крана.

Русловое здание ГЭС длиной 96,5 м и максимальной высотой 57,7 м будет расположено у правого берега, сопряжение с водосливной плотиной производится при помощи раздельной стенки длиной 73 м, с берегом — с помощью подпорной стенки длиной 100 м (далее вплоть до впадения реки Долдыкан предусмотрено крепление берега каменной наброской).

В здании ГЭС планируется разместить 4 гидроагрегата мощностью по 80 МВт с поворотно-лопастными турбинами ПЛ30-ВБ-630, работающими на расчётном напоре 26,1 м, и вертикальными синхронными гидрогенераторами. Со стороны нижнего бьефа у стены машинного зала запланировано размещение четырёх силовых трансформаторов, с которых электроэнергия передаётся на КРУЭ (рис.1.6).

К зданию ГЭС примыкает глухая бетонная плотина длиной 76 м и максимальной высотой 19,75 м, замыкающая напорный фронт на правом берегу, а также монтажная и станционная площадки. На станционной площадке расположены производственно-технологический комплекс и здание комплектного распределительного устройства (КРУЭ 220 кВ). Выдачу электроэнергии планируется осуществлять по ЛЭП 220 кВ на подстанции Архара (2 ЛЭП) и Райчихинск (Отчет 1035-М1-040-Отч, 2014).

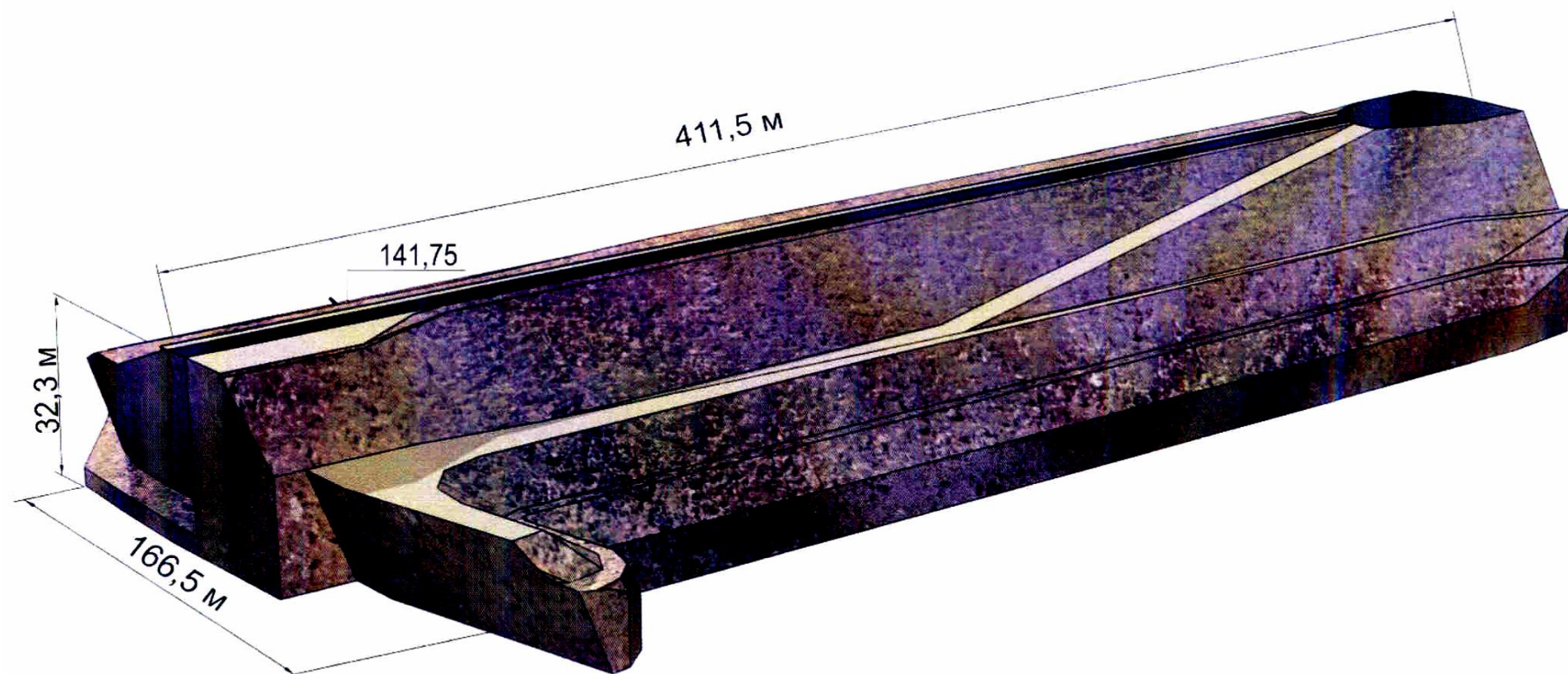


Рис.1.5 Проект русловой земляной плотины НБГЭС (Отчет 1351, 2010)

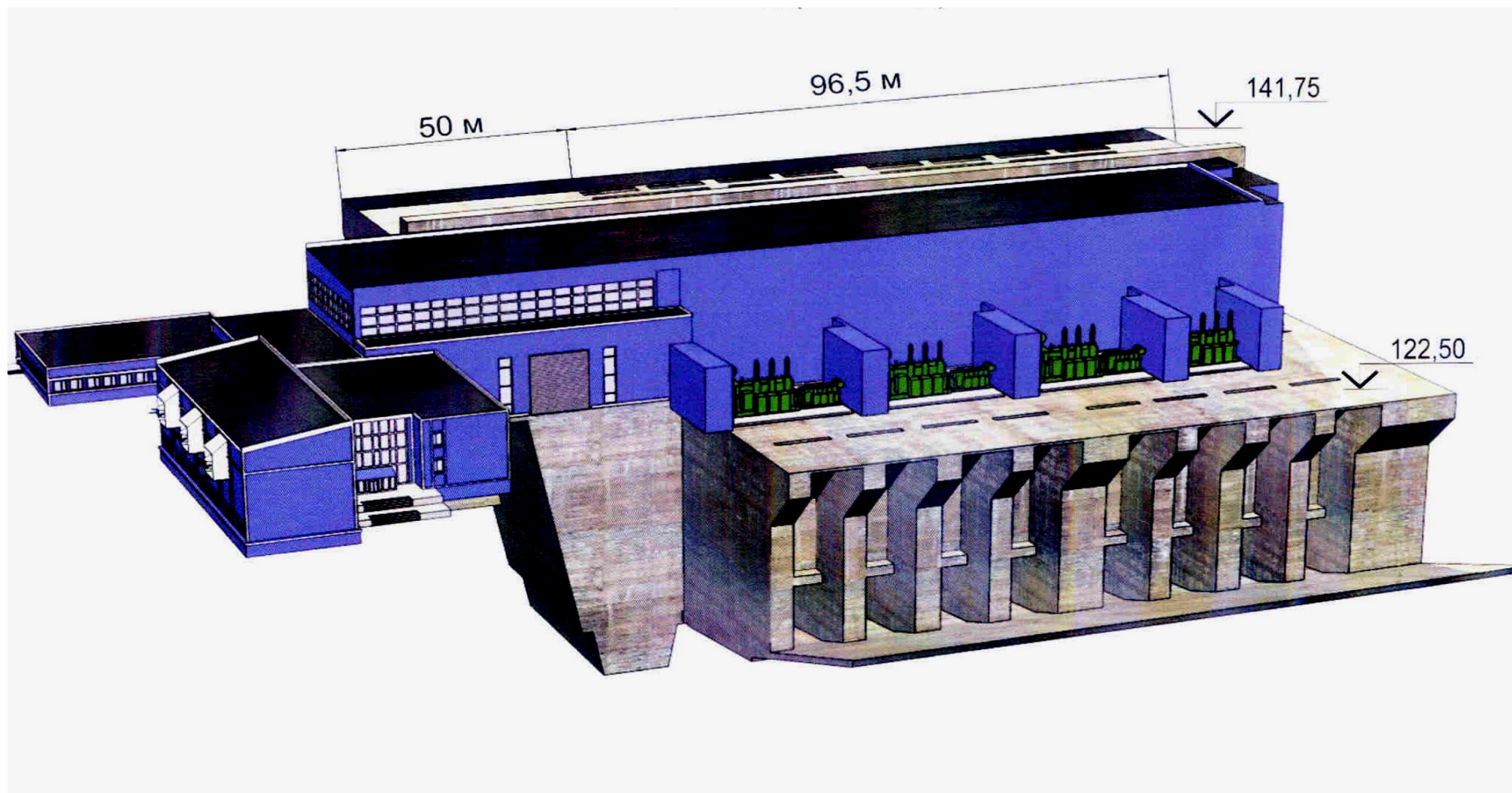


Рис.1.6 Проект здания НБГЭС (Отчет 1351, 2010)

Напорные сооружения ГЭС должны образовать Нижне-Бурейское водохранилище недельного регулирования площадью 154 км², полной и полезной ёмкостью 2034 и 77 млн м³ соответственно. Отметка нормального подпорного уровня водохранилища составляет 138 м над уровнем моря. Водообмен в водохранилище будет происходить один раз в 30-40 суток. При создании водохранилища должно быть затоплено 986 га сельхозугодий (пашни и залежи) и 8520 га леса и кустарников (запланирована полная лесочистка ложа водохранилища). Населённые пункты водохранилищем не затрагиваются, переселение населения не предусматривается (Отчет 1035-М1-040-Отч, 2014).

Водонепроницаемость основания русловой земляной плотины планируется обеспечить с помощью создания «стены в грунте» из глиноцементобетона (ГЦБ) (рис. 1.7). Конструкция будет устроена через аллювиальные отложения до скального основания. Кроме того, планируется создание двухрядной цементационной завесы в скальном основании.

Для приготовления смеси глиноцементобетона организацией ООО «Гидроспецпроект» была разработана специальная рецептура.

Так как технологию «стена в грунте» планируется использовать при возведении основания грунтовой плотины, состав глиноцементобетона был опробован при строительстве временной перемычки котлована бетонных сооружений ГЭС в насыпных грунтах и русловом аллювии (без устройства суглинистого ядра).

Возведение котлована было начато в 2011 году — отсыпаны низководные перемычки. Были сооружены три автодороги, смонтирован бетонный завод, велось строительство административно-управленческого корпуса и жилья для строителей (рис.1.8).

Впервые в практике гидротехнического строительства на территории РФ в насыпных грунтах и русловом аллювии тела перемычек котлована основных сооружений Нижне-Бурейской ГЭС противофильтрационный элемент (ПФЭ) был выполнен способом «стена в грунте» (без устройства суглинистого ядра). Таким образом, сооружение противофильтрационной завесы в виде буросекущих свай из материала глиноцементобетона (ГЦБ) является уникальным в своем роде сооружением. Технология «стена в грунте» и использующийся материал глиноцементобетон подробно рассмотрены в главе 5.

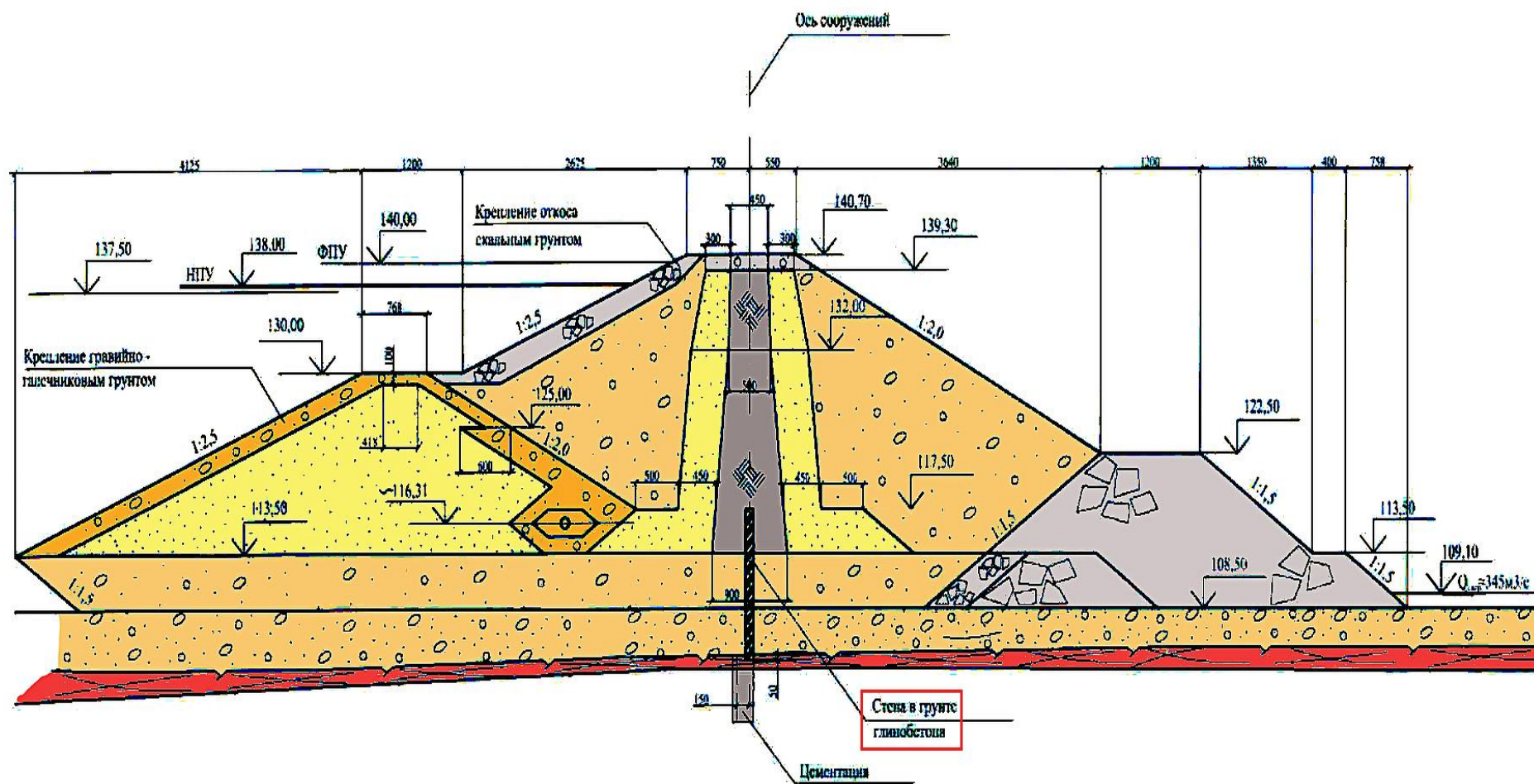


Рис.1.7 Проект русловой земляной плотины НБГЭС в поперечном разрезе (Отчет 1351, 2010)



Рис.1.8 Временная перемычка котлована под бетонные сооружения,
август 2012 г. (с сайта *rushydro.ru*)

За период с 10 ноября 2012 г. По 23 февраля 2013 г. Был завершен основной объем работ по сооружению «стены в грунте» в насыпных гравийно-галечных грунтах тела перемычек котлована основных сооружений Нижне-Бурейской ГЭС с заглублением в скальные грунты не менее, чем на 0,5 м.

Всего было пробурено:

- 1 181 скважина основного объема суммарной длиной 16 324,15 м, объем уложенного глиноцементобетона 15 040,8 м³.
- 51 дополнительная скважина, суммарной длиной 754,52 м, объем уложенного глиноцементобетона 703,50 м³, в т.ч.:

Работы по возведению ГЦБ осложнялись по причине их проведения в осенне-зимний период в суровых климатических условиях Дальнего Востока: ночная температура наружного воздуха опускалась до минус 45°C.

Основные этапы производства работ:

2012 г.- полностью отсыпаны перемычки котлована.

2013 г.- осушение котлована, начало бетонных работ.

2014 г.- бетонирование всех сооружений станции, завершение возведения правобережной плотины (Отчет 1035-М1-040-Отч, 2014).

2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА

2.1 Географическое положение и рельеф

Река Бурея - один из крупнейших притоков р. Амур. Бассейн р. Бурея расположен на территории Хабаровского края и Амурской области. На севере и северо-востоке он ограничен хребтами Дуссе-Алинь и Эзоп с максимальными абсолютными высотами 2241 и 2175 м. На востоке граница бассейна проходит по вершинам Буреинского горного массива, имеющего максимальную высоту 2167 м. Параллельно ему на западе сложен хребет Турана, со средними высотами 900-1200 м (Проект нормативов..., 2012).

Истоки Буреи - порожистые реки Правая и Левая Бурея находятся на высоте 560 м над уровнем моря, в отрогах хребтов Эзоп и Дуссе-Алинь, Длина Буреи от слияния Правой илевой Буреи - 623 км, от истока Правой Буреи - 739 км, общая площадь водосбора 70 700 км, общее падение 474 м, средний уклон 0,0007‰. Распределение уклонов по руслу р. Бурея проходит неравномерно.

Продольный профиль по сравнению с другими реками Приамурья наименее разработан и имеет два излома: первый приурочен к участку ниже слияния Правой илевой Буреи, второй находится между устьями рек Туюн и Тирма. Наибольшая глубина реки в межень – 12 м (Проект нормативов..., 2012).

Рельеф района можно охарактеризовать как горно-равнинный: чередование горных складчато-глыбовых хребтов и цепей, ориентированных, в основном, в северо-восточном направлении, и межгорных впадин, разделяющих эти хребты, или являющихся самостоятельными крупными морфоструктурами (Амуро-Зейская и Зейско- Буреинская равнины, Среднеамурская низменность). Все они определяют большое разнообразие условий формирования русел рек бассейна.

2.2 Гидрография

Речная сеть Дальнего Востока полностью принадлежит к бассейну Тихого океана, точнее к его окраинным морям - Берингову, Охотскому и Японскому.

Гидрографическая сеть бассейна р. Бурея включает 16 500 рек и 1 655 озер, представлена в основном малыми притоками, длина которых не превышает 10 км (96,2%) и 25 км (3,1%) (рис. 2.2). Среди крупных притоков следует отметить реки: Ниман – 353 км; Тирма - 334 км; Туюн - 200 км; Акишма - 196 км; Юрин - 195; Сутырь - 174; Гуджал - 171; Ургал -164; Нимаган - 144; Ын - 125 км. Густота речной сети в среднем для бассейна р. Бурея составляет 0,68 км/км², изменяясь в пределах от 0,58 км/км² до 0,79 км/км² единицы измерения (Проект нормативов..., 2012).

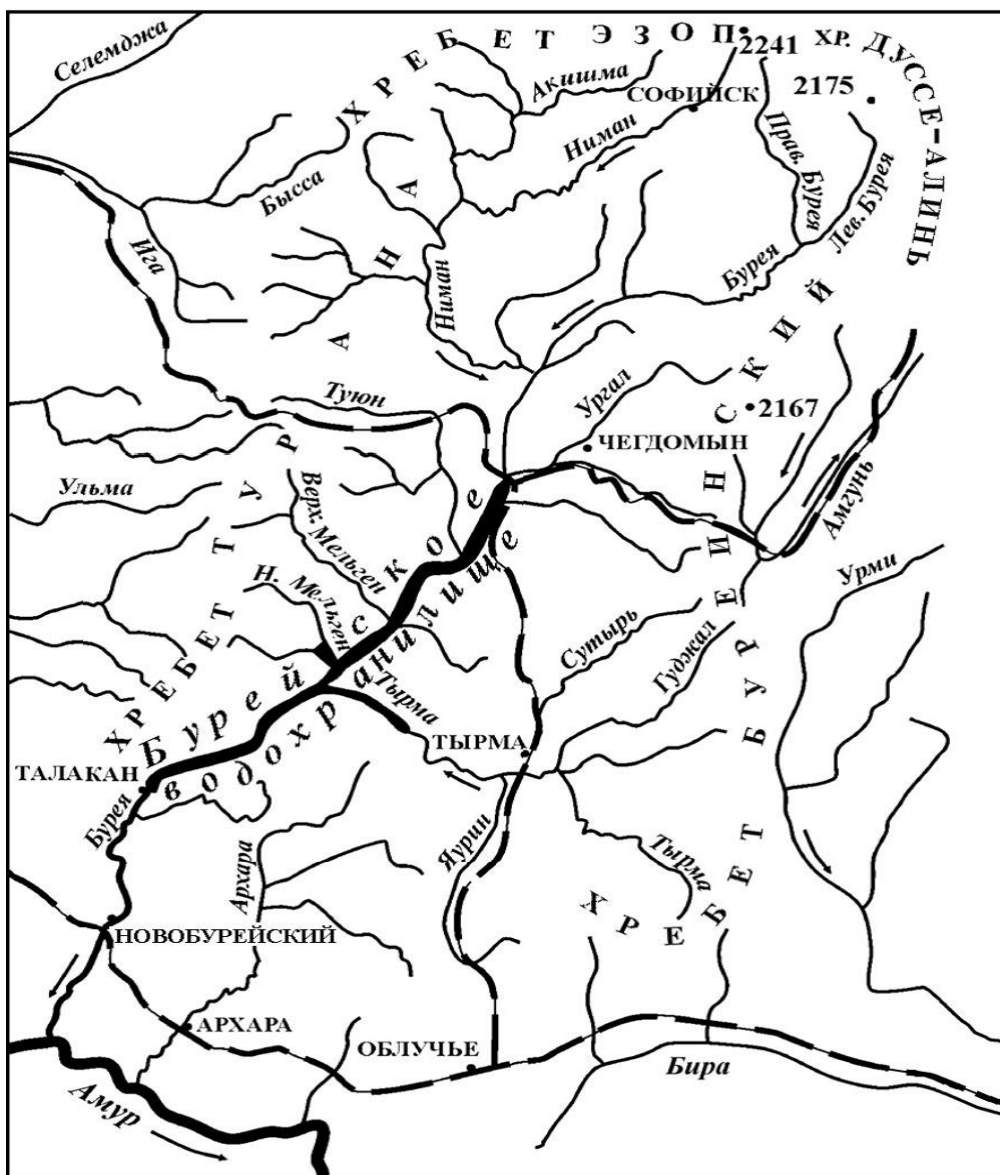


Рис. 2.1 Орографическая схема бассейна р. Бурея (Научный социально-экологический мониторинг..., 2003-2008)

Реки Дальнего Востока носят по преимуществу горный характер. В местах пересечения горных хребтов они текут по дну глубоких долин, ограниченных высокими и скалистыми склонами. По мере удаления от истоков долины рек расширяются, увеличивается также и пойма, толща аллювиальных отложений становится мощнее, причем заметно уменьшается крупность наносов. В нижнем течении реки преимущественно проходят по низменным участкам местности, причем переход от горной части бассейна к равнинной выражен весьма резко (Проект нормативов..., 2012).

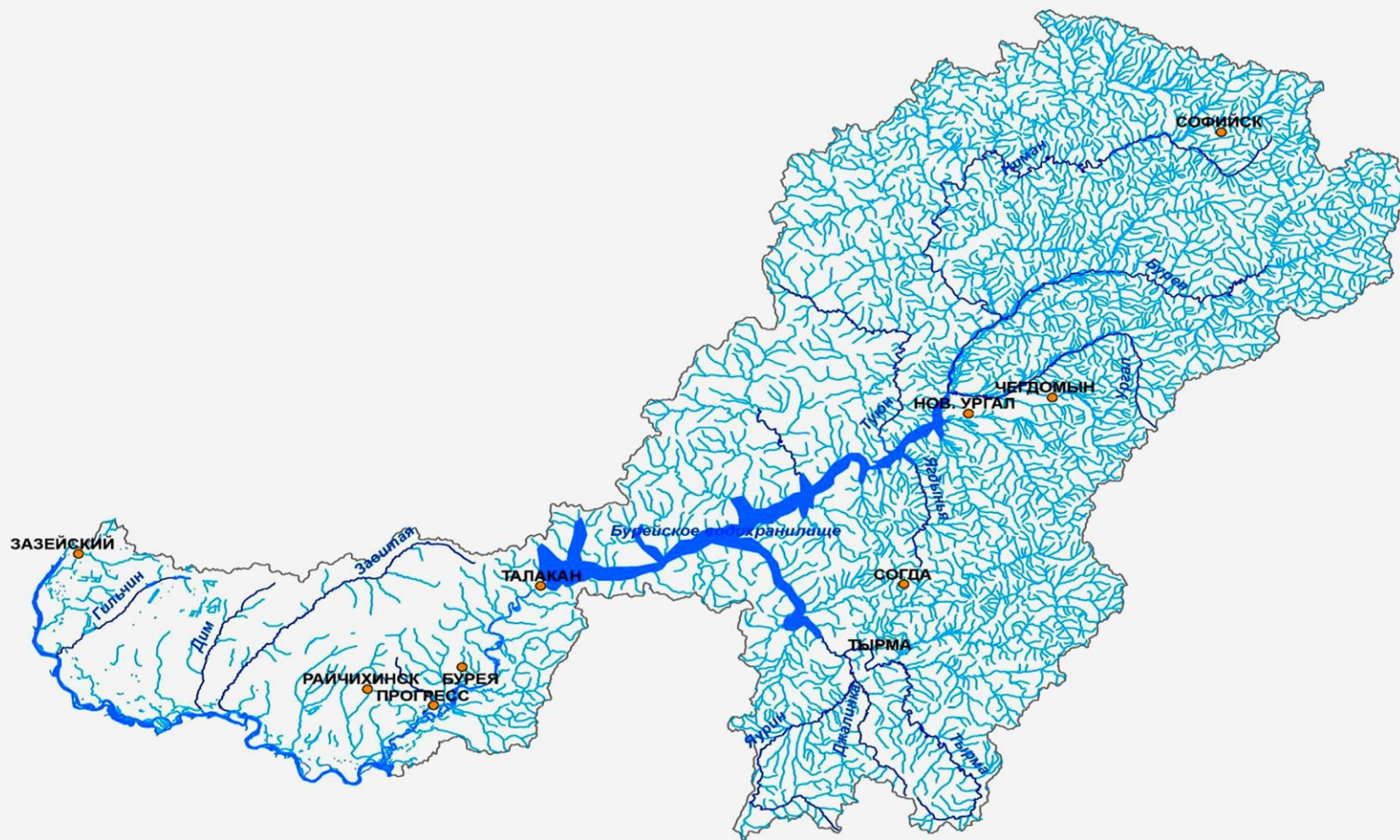


Рис. 2.2 Бассейн р. Буреи (Проект нормативов..., 2012)

Верхнее течение Буреи имеет горный характер, берега реки местами скалистые, а течение потока быстрое - 2 м/сек и более. В нижнем течении Бурея вступает в пределы Зее-Буреинской равнины, где долина расширяется, русло ограничено низкими берегами и расчленяется на рукава и протоки, образуя многочисленные острова. Бурея - одна из наиболее водоносных рек Дальневосточного края; средний годовой расход воды ее равен $950 \text{ м}^3/\text{сек}$, а соответствующий ему модуль стока равен 13 л/сек км^2 . На участке от устья до с. Чекунда Бурея судоходна. Главный ее приток - р. Тырма - имеет длину 313 км и площадь бассейна 15200 км^2 (Соколов, 1952).

2.3 Климат

Климат района сочетает черты муссонного и резко континентального, годовое количество осадков варьирует в пределах 601—776 мм. В зимние месяцы устанавливается морозная и ясная погода, снежный покров невелик.

Положение территории на восточной окраине материка определяет муссонный климат со свойственной для него сезонной сменой перемещения воздушных масс. Юг Дальнего Востока, где расположена Нижне-Бурейская ГЭС, относится к умеренной области дальневосточного муссонного климата. Годовая суммарная солнечная радиация колеблется от 90 до 118 ккал/см^2 с общим ее увеличением с севера на юг. В этом направлении увеличивается и годовая температура. Годовое количество осадков меняется северо-востока на юго-запад. Это связано с рельефом территории и продвижением воздушных потоков. В целом, климат района можно определить, как муссонно-континентальный умеренно влажный.

Серьезным барьером на пути теплых океанических воздушных масс являются системы горных хребтов (Сихотэ-Алиня, Баджальского и Буреинского хребтов). Таким образом, увеличивается амплитуда годовой и суточной температур, сокращается количество осадков, значительная часть влаги осаждается в предгорной части.

Муссонный тип выпадения осадков таков, что большая их часть (75–95%) приходится на теплое время года. Дожди, особенно обильные в июле и августе, вызывают масштабные разливы рек. Крайняя неравномерность речного стока является одной из основных трудностей для строительства гидростанций в этом регионе.

Территория суши зимой сильно переохлаждается, происходит устойчивый отток континентальных воздушных масс. Сильное понижение температуры холодного периода усиливается вторжением холодного арктического воздуха (Чаповский, 1977).

3. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА

3.1 Геологическая изученность района

Планомерное изучение геологического строения района среднего и нижнего течения Буреи началось с 1950 г геологической съемкой масштаба 1:200000.

Работы выполнялись организациями Министерства геологии, Ленгидропроектом и др. Опубликованные материалы: геологическая карта южной части Хабаровского края и Амурской области масштабом 1:500000, 1958 г., геоморфологическая карта Приамурья и смежных территорий масштабом 1:1500000, 1960 г, геологические карты водохранилища и нижнего бьефа Нижне-Бурейского гидроузла масштабом 1:200000.

По району нижнего бьефа произведен сбор имеющихся материалов в различных организациях, в том числе Востокгипросельхозстрой, Дальгипрорис, Амургипроводхоз, ДальТИСИЗ, Сибирское отделение Гипроэнергопрома- производивших инженерно-геологические изыскания на территории колхозов и совхозов, расположенных в долине р. Буреи (Отчет об инженерно-геологических работах..., 1960).

Ленгидропроект выполняет изыскательские работы в долине р. Буреи с 1957 г.

3.2 Геоморфология

Нижне-Бурейский гидроузел расположен на расстоянии 84,5 км от устья реки Буреи, и 0,95 км выше устья реки Долдыкан, приурочен к так называемому Долдыканскому сужению.

Долина реки Буреи и ее крупные притоки врезаны на глубину 80-100 м в древнюю поверхность выравнивания, (краевую часть хребта Турана), представляющую собой холмистое плато.

Местность района основных работ в районе гидроузла неровная, холмистая, изрезанная логами, ориентировка которых определяется их приуроченностью к тектоническим зонам массива коренных пород.

Долина р. Буреи в пределах участка основных сооружений имеет корытообразный ассиметричный профиль с крутым левобережным и более пологим правобережными склонами.

Выше и ниже створа с развитием пойменной и пяти надпойменных аккумулятивных террас долина расширяется. Первая надпойменная терраса высотой 10-12 м широко развита на обоих берегах реки, имея сравнительно ровную поверхность с абсолютными отметками 115-116 м (Отчет об инженерно-геологических работах..., 1960).

3.3 Тектоника и история геологического развития района

В северо-восточной части Ханкайско-Буреинского массива (палеомикроконтинент) фиксируется область смыкания Урало-Азиатского и Тихоокеанского подвижных поясов. Некоторые исследователи выделяют Ханкайско-Буреинский палеомикроконтинент как самостоятельную (метаплатформенную) область, которая отгораживает Урало-Азиатский подвижный пояс от Тихоокеанского подвижного пояса (Полянин, 2009).

В строении Ханкайско-Буреинского палеомикроконтинента выделены следующие структурно-тектонические этажи:

- 1) нижнедокембрийский,
- 2) верхнедокембрийский,
- 3) палеозойский,
- 4) мезозойский
- 5) кайнозойский.

Нижнедокембрийский этаж в северной (Буреинской) части Ханкайско-Буреинский палеомикроконтинент представлен отложениями амурской серии (нижний протерозой) общей мощностью, превышающей 4 км: гранат-биотитовыми гнейсами, амфиболитами, двуслюдяными, амфибол-хлорит-биотитовыми и др. гнейсами.

Отложения верхнедокембрийского - нижнепалеозойского этажа, вероятно, формировались в геодинамической обстановке пассивных континентальных окраин (основная часть осадочного разреза), рифтогенно-спрединговых хребтов (офиолиты) и активных континентальных окраин.

В ордовике в краевых частях Буреинского континентального блока фиксируется последовательное внедрение интрузий кварцевых диоритов, плагиогранитов, гранитов и гранодиоритов. В ордовикское время в пределах периферии Ханкайско-Буреинского палеоконтинента господствовал геодинамический режим активной континентальной окраины, а сама она представляла собой вулcano-плутонический пояс (Полянин, 2009).

На Буреинском массиве отложения силура-перми представлены мощными терригенными и карбонатными толщами, трансгрессивно залегающими на размытой поверхности отложений нижнего докембрия и ордовикских гранитов. В конце палеозоя Ханкайско-Буреинский палеомикроконтинент также, как и в ордовике представлял активную континентальную окраину расположенного восточнее палеоокеана.

На складчатом протерозойско-палеозойском фундаменте залегают отложения, объединяемые в мезозойский и кайнозойский этажи.

Наиболее полный разрез мезозойских полого складчатых отложений наблюдается в Буреинском краевом прогибе (северо-восточная часть Буреинского блока). Здесь обнажается морская терригенная толща, а выше по разрезу - терригенная угленосная толща. В это время Буреинский блок Ханкайско-Буреинского массива в очередной раз входит в состав активной континентальной окраины Тихоокеанского подвижного пояса. По данным работ Милоновского Е.Е. и др. авторов, можно сделать вывод, о том, что в это время Западно-Сихоте-Алинская зона представляет собой аккреционную призму, а Ханкайско-Буреинский палеомикроконтинент – магматическую (в основном, вулканическую) дугу и, частью, вероятно, зону тыловодужного рифтогенеза.

В кайнозойское время после непродолжительного (палеоген) периода платформенного развития в краевых частях Ханкайско-Буреинского массива проявились процессы эпиплатформенного орогенеза. В это время возникли низко-, среднегорные хребты Тукуринга, Джагды, Турана, Буреинский, Цаоелин и Синий.

В то же время в осевой (ядерной) части Ханкайско-Буреинского палеомикроконтинента платформенные обстановки продолжают проявляться и до настоящего времени. Эти области известны как Амурско-Зейская, Зейско-Буреинская и Ханкайская равнины (Полянин, 2009).

Район гидроузла находится в пределах единого тектонического блока. Выделенные в нем разрывные нарушения, подразделяются по мощности и глубине распространения процессов выветривания. На участке размещения основных сооружений гидроузла зафиксировано 22 зоны и крупные тектонические трещины.

3.4 Геологическая характеристика района гидроузла

Геологическое строение района определяется, в значительной степени, его расположением вблизи границы двух крупных тектонических структур, резко отличающихся по своему строению – Буреинского срединного гранитного массива и Зей-Буреинской впадины (рис. 3.1).

Район Долдыканского сужения приурочен к южной окраине Туранского блока в пределах Буреинского гранитного массива (Отчет о геологическом..., 1958).

Туранский блок представляет собой глыбовое поднятие, сложенное, в основном, протерозойскими метаморфическими породами, прорванными рядом крупных интрузий. Южная окраина блока образована крупной, сложно построенной интрузией гранитоидов, которая является краевой частью обширного Буреинского гранитного массива.

Участок Нижне-Бурейского гидроузла расположен в пределах выходящей на поверхность интрузии, представленной преимущественно породами гранитоидного состава (рис. 3.2)


Зея-Бурейнская впадина представляет собой прогиб, выполненный мезозойскими осадочными отложениями, перекрытыми толщей отложений кайнозойского возраста. Границей между этими двумя геологическими структурами является крупный глубинный региональный разлом северо-западного простирания.

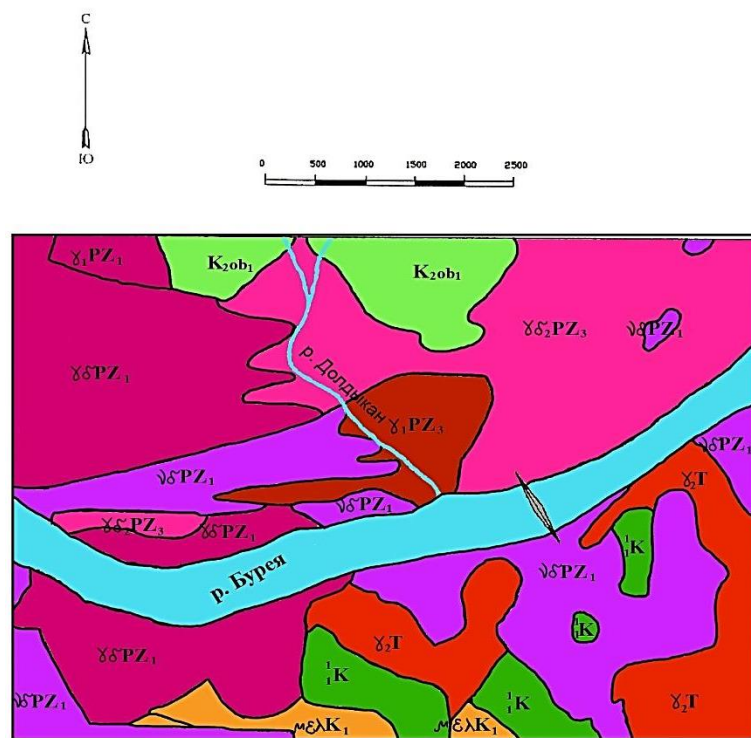
В геологическом строении района гидроузла принимают участие сложные интрузии палеозоя, рыхлые образования неогена, прикрытые сверху четвертичными отложениями (рис 3.3) (Отчет о геологическом..., 1958).



Рис.3.1 Фрагмент тектонической карты района Нижне-Бурейской ГЭС (с сайта vsegei.com/ru/) Условные обозначения: 1. Батолиты, штоки гранитов позднего палеозоя

2. Батолиты, штоки гранитов раннего палеозоя 3. Массивы гранитов до-позднемеловые (Т, J, K₁) 4. Кайнозойская вулканическая впадина

5. Мезозойский краевой прогиб  - расположение Нижне-Бурейской ГЭС



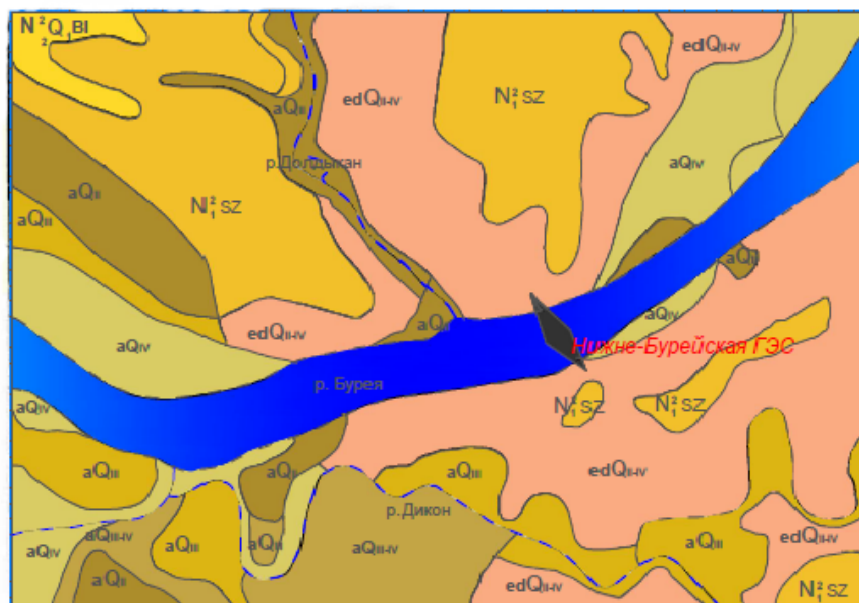
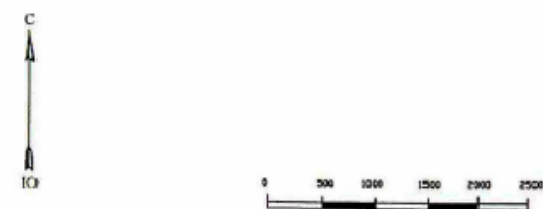
Выкопировка с геологической карты бассейнов
рек Буря-Дикан, м 1:50000, 1975 г, ДВТГУ.

Схематическая геологическая карта
участка Нижне-Бурейского гидроузла.
М 1 : 50000

Условные обозначения:

- Меловая система
Верхний отдел
- $K_2 ob_1$ Нижняя обманниковская подсистема. Переслаивающиеся туфы липаритов от пепловых до глыбовых.
- Нижний отдел.
- K_1^1 Базальная толща. Переслаивание потоков и покровов глыбовых туфов андезито-дацитов, пепловых туфов андезито-дацитов, мелкообломочных туфитов.
- Интрузивные породы
Меловые интрузии.
- $Me\lambda K_1$ Сувулканические фации. Рогообманково-биотитовые и биотитовые андезито-дациты.
- Триасовые интрузии.
- $\gamma_2 T$ Граниты лейкократовые, биотитсодержащие среднекристаллические с краевыми фациями мелкокристаллических аплитовидных гранитов, гранит-аплитов.
- Палеозойские интрузии.
Позднепалеозойские.
- $\gamma_1 Pz_3$ Граниты биотитовые средне-крупнокристаллические часто порфиробластические.
- $\gamma\delta_2 Pz_3$ Гранодиориты биотитовые, рогообманково-биотитовые средне-реже мелкокристаллические.
- Раннепалеозойские.
- $\gamma_1 Pz_1$ Гранодиориты, граниты рогообманково-биотитовые, крупнокристаллические порфиоровидные, гнейсовидные.
- $\gamma\delta Pz_1$ Габро-диориты средне-и крупнокристаллические, биотит-рогообманковые.
- Тектонические контакты.
- Достоверные
Скрытые под более молодыми образованиями.
- Створ Нижне-Бурейского гидроузла.
- Стратиграфические границы.

Рис.3.2 Схематическая геологическая карта скальных пород участка Нижне-Бурейского гидроузла
(Отчет 1035-М1-040-Отч, 2014)



Выкопировка из геологической карты рыхлых отложений бассейнов рек Бурей - Долдыкан, м 1 : 50000, 1972 г., ДВТГУ

Условные обозначения:

Четвертичная система

- | | | |
|---------------------------|--|---|
| aQ IV | | Современные аллювиальные отложения русла и низкор. поймы. Грант гравийная галечниковая с валунами. Заполнитель - песок от гравелистого до средней крупности |
| aQ III-IV | | Верхнечетвертичные - современные нерасчлененные аллювиальные отложения высокой поймы и I нп. террасы. Суглинки, супеси, пески с редким гравием и галькой, единичными валунами |
| aQ III | | Верхнечетвертичные аллювиальные отложения II н. п. террасы. Суглинки, супеси, пески с гравием и галькой до 15 %; гравийно - галечниковые гранты с песчаным заполнителем |
| aQ II | | Среднечетвертичные аллювиальные отложения III-IV н. п. террасы - суглинки, супеси, пески с гравием и галькой до 20 % |
| edQ II-IV | | Среднечетвертичные - современные нерасчлененные элювиально - делювиальные образования. Суглинки, супеси, пески с дресвой и щебнем до 25-30 % и единичными глыбами; глыбы гранитоидов с дресвян; щебенистым заполнителем и без заполнителя |
| N2-Q1 Bl | | Неоген - четвертичные отложения. Белогарская свита. Пески разной крупности, местами охлеженные, супеси, суглинки, глины, гравийно - галечниковые гр. |
| Неогеновая система | | |
| N1SZ | | Созанковская свита. Пески разной крупности, суглинки, супеси, глины с гравием до 10 % и редкой галькой; гравийно - галечниковый грант; коалинизированные |

Рис. 3.3 Схематическая геологическая карта четвертичных отложений участка Нижне-Бурейского гидроузла
(Отчет 1035-М1-040-Отч, 2014)

3.5 Гидрология

По водоносности река Буря занимает второе место среди всех притоков Амура. Река Буря многоводна в теплый период и маловодна зимой, когда почти полностью промерзает.

В бассейне р. Буря главными источниками питания рек являются атмосферные осадки и снежный покров, роль подземных вод менее значительна. В теплую часть года наблюдается 5-7 паводков, причем наиболее значительные из них проходят в июле-августе. Увеличение уровня воды достигает 6-10 м и более, наиболее высокие уровни - на нижнем горном участке, ниже устья р. Мальмалты. Сильные паводки вызывают катастрофические наводнения, во время которых происходит затопление населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий (Мордовин, 1996).

Горный рельеф, густая речная сеть способствуют быстрому сбросу вод в основное русло Буреи, а неглубокое залегание относительно водонепроницаемых слоев (кристаллические породы и мерзлые грунты) обуславливают незначительные потери на фильтрацию. Затруднен сток в пределах заболоченных равнин и низменностей.

Наличие многолетнемерзлых пород (ММП) на рассматриваемой территории существенно сказывается на режиме поверхностных и подземных вод. На реках, протекающих в пределах ММП, широко распространены наледи, отмечается промерзание русел до дна и затрудненный водообмен поверхностных и грунтовых вод. Характер залегания мерзлых пород имеет большое значение для режима поверхностных вод, циркуляция которых с подземными водами оказывает влияние на формирование таликовых зон.

Химический состав вод формируется в соответствии с источниками питания рек в основные фазы их режима. В р. Буря изменения концентрации растворенного кислорода находятся в диапазоне от 6,2 до 14,2 мг/дм³. В зимнюю межень концентрация кислорода в воде редко опускается ниже 7,0 мг/дм³, что соответствует 50% насыщения. Во время половодья и в паводки содержание кислорода превышает 9,0 мг/дм³. В летнюю межень вследствие прогрева водных масс уровень содержания кислорода снижается до 8,6 мг/дм³. Содержание диоксида углерода в водах Буреи изменяется в больших пределах - от 1,2 до 76,2 мг/дм³. Его наибольшая концентрация отмечается в основном зимой, а низкая - в летнюю межень (Мордовин, 1996).

По величине активной реакции среды воды, в основном, относятся к нейтральным, амплитуда колебаний величины pH - от 6,15 до 7,25. В период половодья

и прохождения летних паводков поступление гуминовых веществ с поверхности водосбора (болот и заболоченных земель) приводит к снижению показаний pH до 5,3.

Величины концентрации главных ионов различаются в притоках Буреи, стекающих с горных хребтов восточной и в западной ориентации. В воде рек (Туюн, Нижний Мельгин и др.) с восточных склонов хребтов Турана, Дуссе-Алинь и Эзоп, сложенных слаборастворимыми гранитоидами, метаморфическими и метаморфизованными породами, содержание ионов натрия и магния, хлоридных ионов не превышало $3,0 \text{ мг/дм}^3$, а ионов калия - 1 мг/дм^3 . Величина общей минерализации воды низкая - $25,0 \text{ мг/дм}^3$ (Мордовин, 1996).

По величине минерализации вода Буреи относится к ультрапресной. Изменение минерализации по продольному профилю реки определяется поступлением водных масс притоков с различными показателями. Низкая минерализация наблюдалась в верхнем течении реки, а высокая - в нижнем ее течении, после впадения более минерализованных вод правобережных ее притоков (Ургал, Тырма, Чегдомын и др.). В зависимости от фаз водного режима средняя минерализация р. Бурей колеблется в пределах $30,0\text{-}80,0 \text{ мг/дм}^3$, редко превышая 100 мг/дм^3 . Наименьшая минерализация отмечается в период весеннего половодья и летних паводков - до 10 мг/дм^3 (Правая и Левая Бурей). Высокие концентрации ионов наблюдаются в местах, где ведется активная добыча угля (руч. Бол. Сатанки, Иванов ключ, р. Чегдомын). На таких участках концентрация гидрокарбонатов и сульфатов щелочных и щелочноземельных металлов в воде возрастает в 2-4 раза (Мордовин, 1996).

В целом, по величине минерализации воды бассейна р. Бурей являются ультрапресными, по химическому составу относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция, реже магния - первому типу.

В периоды строительства Бурейской ГЭС, заполнения водохранилища (2003-2009 гг.) и его эксплуатации (с 2009 г.) водный режим Буреи ниже плотины резко изменился, что отразилось, прежде всего, на внутригодовом распределении стока, на протяжении 174 км до устья р. Бурей и далее на р. Амур (Мордовин, 1996).

4. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ УЧАСТКА РАБОТ

4.1 Геологическое строение участка работ

Местные геологические условия благоприятны для строительства ГЭС. В районе Бурейского гидроузла характерна верхнепалеозойская гранитная интрузия, в районе Нижне-Бурейской ГЭС присутствуют диориты, которые перекрыты с поверхности четвертичными отложениями (рис. 4.1).

Трещины в скальном основании присутствуют, но, в целом, водопроницаемость этих пород низкая. Вторичные изменения в породе наблюдаются в незначительной степени, в основном это разрушение минералов внутри горных пород из-за тектонических движений и процессы выветривания.

Указанные граниты, в основном, имеют монолитный внешний облик и постоянный минеральный и петрографический состав. Русло реки слагают аллювиальные гравийно-галечниковые отложения неоген-четвертичного возраста.

Разделение структурных комплексов пород было произведено по слоям, в соответствии с их литолого-стратиграфическими признаками. Описание пород приведено сверху вниз по разрезу.

Четвертичные отложения на участке проектируемого гидроузла распространены повсеместно – на склонах, слагают террасы и русло реки; представлены элювиально-делювиальными, аллювиальными образованиями.

Аллювиальные отложения разделяются на образования русла, низкой поймы, высокой поймы и первой надпойменной террасы.

На участке работ представлены отложения русла и низкой поймы (aQ_{IV}) реки Буреи, которые отличаются преобладанием гравийно-галечниковых грунтов с песчаным заполнителем до 30% (слой 29); песок разной крупности от среднего до гравелистого. В галечниках встречаются валуны, содержание которых меняется от 1 до 10%. Галька преимущественно крупная, средней окатанности, по составу преобладают изверженные породы. Мощность аллювия варьирует от 1,5 до 8-10 м.

Элювиально-делювиальные образования (edQ_{II-IV}) склонов состоят из суглинков (слой 11), супесей (слой 12) и песков (слои 13а и 13б) со щебнем и дресвой до 40%, на отдельных участках переходящих в дресвяно-щебенистый материал с глыбами и супесчано-суглинистым заполнителем до 20-40% (слои 14а, 14б, 14в). Общая мощность этих образований меняется от 0,5 до 5 м (Технический отчет..., 2008).

Неоген-четвертичные нерасчлененные образования представлены элювиальными отложениями верхней зоны коры выветривания гранитоидов ($eN-Q$)-

дресвянистыми грунтами с песчаным и суглинистым заполнителем, песками, супесями, суглинками с дресвой и щебнем до 50%, с редкими глыбами (слои 60, 60а, 61б, 61в, 62а, 62б). Мощность элювия по данным выработок изменяется в широких пределах, составляя на дне долины 2-4 м, на правом берегу - 0,4-15,4 м, на левом берегу - 0,6-7,5 м. Отложения перекрыты четвертичными отложениями (Технический отчет..., 2008).

Позднепалеозойские интрузивные породы

Участок створа Нижне-Бурейской ГЭС сложен позднепалеозойскими интрузиями (γPZ_3 , $\delta\gamma\text{PZ}_3$), состав которых варьирует от биотитовых, реже роговообманково-биотитовых гранитов до роговообманково-биотитовых гранодиоритов и диоритов. Переходы между гранитоидами всегда постепенны.

Граниты биотитовые, реже - роговообманково-биотитовые. Структура среднекристаллическая, неравномернокристаллическая, участками катакластическая, с элементами гранобластовой. Текстура массивная. Порода состоит из плагиоклаза, калиевого шпата, кварца, биотита, иногда - роговой обманки и акцессорных минералов – апатита, сфена, турмалина.

Содержание темноцветных минералов, в основном, биотита, варьирует от 1-5% до 18%, что позволяет выделить лейкократовые и миланократовые разновидности описываемых пород (Технический отчет..., 2008).

Гранодиориты представлены роговообманково-биотитовыми разностями, имеющими гипидиоморфнозернистую, среднекристаллическую структуру, иногда порфировидную с гипидиоморфнозернистой основной массой, в катаклазированных разностях – катакластическую. Текстура пород массивная, реже гнейсовидная, обусловленная субпараллельным расположением чешуек биотита. Порода состоит из плагиоклаза, калиевого полевого шпата, кварца, биотита, роговой обманки и акцессорных минералов. Микротрещиноватость образует сеть микротрещин различной формы: прямолинейных, извилистых, ветвящихся.

Диориты роговообманковые, реже биотит-роговообманковые. Структура гипидиоморфнозернистая, диоритовая, мелкокристаллическая. Текстура массивная, слабогнейсовидная. Порода состоит из роговой обманки, биотита, плагиоклаза, подчиненных количеств калиевого полевого шпата, кварца и акцессорных минералов, таких как апатит, сфен и пирит (Технический отчет..., 2008).

4.2 Гидрогеология

Описываемый район относится к юго-восточной окраине Амуро-Зейского артезианского бассейна, Куприяново-Байчиханскому гидрогеологическому бассейну II порядка.

Подземные воды района приурочены ко всем видам пород и гидравлически связаны, образуя единый безнапорный водоносный комплекс, дренируемый р. Бурей.

Питание подземных вод происходит, в основном, за счет инфильтрации атмосферных осадков.

Депрессионная поверхность подземного потока в бортах долины реки резко выполаживается в сторону водоразделов. Глубина залегания уровня подземных вод в естественных условиях (до наполнения водохранилища Бурейской ГЭС) находилась в пределах от 0,5 до 10 м, а сезонное колебание уровня достигало 2-2,5 м. С наполнением водохранилища и пуском Бурейской ГЭС в 2004 году уровненный режим подземных вод изменился, особенно в зимний период. Повышение уровня вод отмечено вблизи берега р. Буреи на 2,0-2,4 м, с постепенным понижением его по мере отдаления от реки. Аналогичное поведение уровня подземных вод следует ожидать и в районе Нижне-Бурейской ГЭС при запуске ее в эксплуатацию.

Высокое положение зеркала подземных вод на водораздельных пространствах между рекой Бурей и реками Долдыкан и Дикан обуславливает отсутствие утечек из водохранилища в соседние долины.

Воды аллювиальных отложений развиты в пределах русла и поймы реки, на первой надпойменной террасе. Водопроницаемость этих пород изучена опытными одиночными откачками из скважин, а также вертикальным электрическим зондированием. По результатам этих работ была выявлена область с повышенной проницаемостью (из-за скопления в этом месте крупнообломочных грунтов), где коэффициенты фильтрации составляют 375-944 м/сут. (расчетный коэффициент фильтрации – 620 м/сут.). Область охватывает участки, попадающие под бетонные сооружения, где толща аллювиальных грунтов подлежит срезке (Технический отчет..., 2008).

В остальных частях основных сооружений водопроницаемость этого слоя характеризуется коэффициентами фильтрации от 81 до 277 м/сут. (расчетный коэффициент фильтрации – 150 м/сут.).

Водопроницаемость гравийно-галечниковых отложений, слагающих первую надпойменную террасу, характеризуется коэффициентами фильтрации, изменяющимися от 27 до 230 м/сут. (расчетный коэффициент фильтрации – 100 м/сут.).

Воды в элювиально-делювиальных отложениях развиты на плоских водоразделах и склонов долин. Водовмещающими здесь являются песчано-супесчаные разновидности грунтов с щебнем и глыбами гранитов. Коэффициенты фильтрации меняются от 0,05 м/сут. для суглинистых – до 10 м/сут. для дресвяно-щебенистых с песчаным заполнителем разностей грунтов. Для глыбового материала принят коэффициент фильтрации равный 500 м/сут.

Воды гранитоидов залегают на глубине, не превышающей 10 м. Водопроницаемость их слабая даже в верхней выветрелой зоне (коэффициент фильтрации – 5 м/сут.), с глубиной она понижается (коэффициент фильтрации – 0,5 м/сут.). Такая небольшая водопроницаемость гранитоидов обуславливается слабым раскрытием трещин, их кальматацией глинисто-суглинистым материалом.

По химическому составу воды аллювиальных отложений русла и поймы аналогичны речным - сульфатно-гидрокарбонатные, кальциево-магниевые.

Воды отложений, слагающих I надпойменную террасу, гидрокарбонатные, кальциево-натриевые, пресные, с минерализацией 0,1-0,2 г/л, от слабокислых до слабощелочных, очень мягкие. По отношению к бетону нормальной плотности для напорных сооружений обладают выщелачивающей и углекислой агрессивностью.

Воды гранитоидов преимущественно гидрокарбонатные (редко сульфатные), смешанного катионного состава, слабо минерализованные (0,05-0,24 г /л), очень мягкие и мягкие, слабокислые. По отношению к бетону нормальной плотности для напорных сооружений обладают выщелачивающей, углекислой и общекислотной агрессивностью (Технический отчет..., 2008).

Характеризуя гидрогеологические условия района гидроузла, можно отметить, что подземные воды встречаются во всех водопроницаемых разновидностях грунтов и составляют единый с коренными породами безнапорный водоносный горизонт, дренируемый р. Буреей и ее притоками. На отдельных участках может образоваться местный напор. Кроме того, у поверхности земли образуется верховодка, водупором для которой могут служить покровные суглинки, а также сезонно-мерзлый слой. Многолетнемерзлые породы в пределах рассматриваемой площадки не встречены.

Водопроницаемость отложений, в зависимости от состава, изменяется от 0,05 м/сут – для суглинистых, до 10 м/сут – для дресвяно-щебенистых с песчаным заполнителем разностей грунтов.

По химическому составу подземные воды преимущественно гидрокарбонатные со мешанным катионным составом, слабо минерализованные (общая минерализация – 0,05-0,24 г/л), мягкие (общая жесткость 0,6- 2,6 мг/экв), слабокислые. По отношению к

бетону нормальной плотности в напорных сооружениях обладают выщелачивающей, углекислой и общекислотной агрессивностью – СНИП 2.03.11-85. Воды являются средне агрессивными к стальным и слабо агрессивными к алюминиевым конструкциям (Технический отчет..., 2008).

4.3 Физико-механические свойства грунтов

Исследования гранулометрического состава и физико-механических свойств грунтов района работ выполнялись в соответствии с действующими нормативными документами.

Физико-механические характеристики грунтов основания и тела плотины НБГЭС представлены в таблице 1. Номера слоев и участков соответствуют инженерно-геологическому разрезу (рис. 4.1).

Нескальные грунты

При статистической обработке данных лабораторных исследований выяснилось, что особенностью нескальных грунтов, развитых в пределах исследуемой территории, является неоднородность их состава и свойств, даже в пределах выделенных слоев, однако анализ приведенных данных свидетельствует, что выборки значений показателей по каждому слою не содержат значений, требующих исключения согласно требованиям ГОСТ 20522-96. Закономерностей изменения свойств грунтов по глубине и в плане не выявлено (Технический отчет..., 2008).

Второй особенностью этих грунтов является то, что в большинстве случаев они не водонасыщены. После возведения сооружений, насыщение грунтов водой может привести к снижению их прочности, что учитывалось при назначении расчетных показателей. При проходке котлованов в пылеватых и мелких песках в период высокого стояния уровня подземных вод следует ожидать оплывание откосов под воздействием гидродинамического давления.

Суглинки и супеси залегают, преимущественно, в пределах сезонно-талого слоя будут учитываться лишь при вскрытии котлованов и при планировке территории (Технический отчет..., 2008).

Непосредственно на участке возведения грунтовой плотины широко распространены аллювиальные отложения русла реки и низкой поймы (aQ_{IV}), представляющие собой гравийно-галечниковые грунты с песчаным заполнителем до 30% (слой 29).

На склонах долины р. Буреи распространены грунты внешне сохранившие текстуру гранитов, но дезинтегрированные процессами выветривания на месте их

залегания, относящиеся к элювиальным грунтам (eN-Q). При этом наблюдается закономерность уменьшения с глубиной степени дезинтеграции пород: от суглинков, супесей и песков с различным количеством крупнообломочного материала (слои 61а, 61б, 62а, 62б) до дресвяных грунтов с песчаным (слой 60), супесчаным и суглинистым заполнителем (слой 61в). Эти грунты относятся к специфическим (СП 11-105-97) и отличаются значительной неоднородностью состава (Технический отчет..., 2008). Инженерно-геологическая оценка характеристик грунтов дана в таблице 2.

Скальные грунты

Скальные грунты представлены тремя петрографическими разностями: гранитами, гранодиоритами и диоритами.

Граниты зоны выветривания Нижне-Бурейского гидроузла (согласно классификации ГОСТ 25100-2011) очень плотные, слабыветрелые, очень прочные, неразмьгаемые. Возможны интенсивные обрушения при взрывных работах, неравномерные деформации при возведении тяжелых сооружений, наледи на участках выходов подземных вод.

Граниты ниже зоны выветривания – очень плотные, очень прочные, неразмьгаемые. При взрывных работах возможны обрушения блоков, вывалы отдельных блоков.

На участке работ граниты и гранодиориты скального основания по степени трещиноватости и механическим характеристикам разделены на три участка:

участок 1-1 представлен слаботрещиноватыми породами;

участок 1-2 – трещиноватые породы;

участок 1-3 составляют повышеннотрещиноватые породы.

Все физико-механические характеристики приведены в таблице 1.2.

Показатели кусковой прочности гранитов Нижне-Бурейского гидроузла выше, чем Бурейского. Анализ изменения прочности гранитов, гранодиоритов и диоритов показывает, что изменение прочности скальных грунтов происходит в зоне выветривания, в пределах зон влияния тектонических нарушений и в тектонических зонах, то есть зависит от структурно-тектонических особенностей и процессов выветривания массива (Технический отчет..., 2008).

Инженерно-геологические условия площадки производства работ в целом благоприятны для строительства, поскольку основанием проектируемых зданий и сооружений будут служить элювий и верхняя зона сильновыветрелых гранитоидов, выдерживающих значительные нагрузки. Категория сложности геологического строения площадки производственной базы по СП 11-105-97– III (сложная).

Таблица 1. Физико - механические характеристики грунтов основания и тела плотины Нижне- Бурейской ГЭС
(Технический отчет..., 2008).

Номер слоя, участка	Наименование грунта	Влажность, %		Плотность, г/см ³				Козф. порист. %	Козф. трения	Сцепление, МПа	Модуль дефор- мации статич. Мпа	Модуль упру- гости динамич. МПа	Козф. Пуассона		Козф. фильтр. м/сут
		естеств. (укладки)	полного водонас- щения	частиц	сухого грунта	грунт естеств. влажн.	водонас. взвешенного						статич.	дина- мич.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Слой 29	Русловой аллювий – галечниковый грунт (реже гравийный) с валунами до 10%, с песчаным заполнителем до 30%	14.0	14.0	2.68	1.95	2.22	$\frac{2.22}{1.22}$	$\frac{0.374}{27}$	0.70	0.0	50	$\frac{1000}{1000}$	0.25	0.35	150/620
Слой 60, 61а, 61б, 61в, 62а, 62б	Гранодиориты зоны Выветривания			2.72	2.66		$\frac{2.68}{1.68}$	$\frac{0.0226}{2.2}$	0.60	0.05	2000	8500	0.30	0.40	0.5
Участок 1-3	Гранодиориты Повышенно- трещиноватые			2.85	2.83		$\frac{2.84}{1.84}$	$\frac{0.007}{0.7}$	0.70	0.2	4000	14000	0.27	0.35	0.05
Участок 1-2	Гранодиориты трещиноватые			2.85	2.83		$\frac{2.84}{1.84}$	$\frac{0.007}{0.7}$	0.75	0.3	9000	25000	0.22	0.30	0.05
Участок 1-1	Гранодиориты Слаботрещиноватые			2.85	2.83		$\frac{2.84}{1.84}$	$\frac{0.007}{0.7}$	0.80	0.4	13000	30000	0.20	0.28	0.005

Примечания: 1. Модуль упругости динамический приведен дробью: в числителе – при естественной влажности (влажность укладки), в знаменателе – при полном водонасыщении.

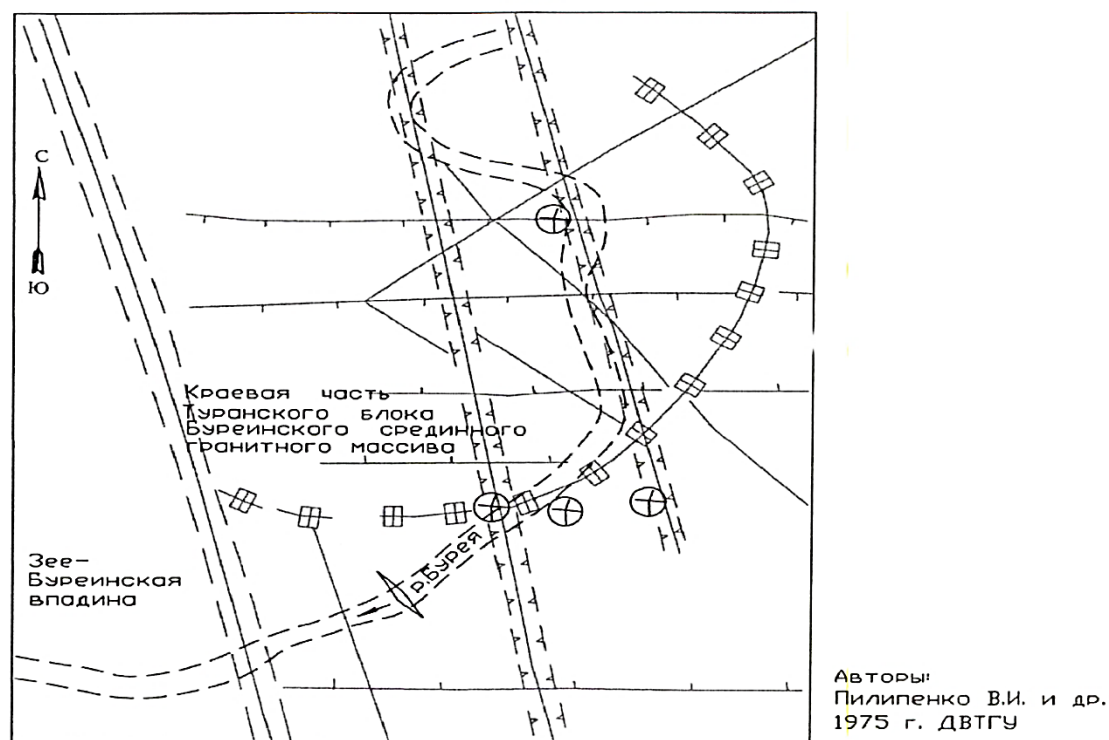
2. Все характеристики уточняются по результатам опытных укатоки и других полевых опытных работ, динамические характеристики – по результатам сейсмоакустических исследований.

Таблица 2. Инженерно-геологические характеристики основных нескальных грунтов района Нижне-Бурейской ГЭС
(Технический отчет..., 2008).

Геологический индекс	№ слоя	Состав грунта	Инженерно-геологические особенности грунта	Особенности поведения грунтов в строительных выемках и основаниях сооружений
eN-Q	61 а, 61 б	Суглинки и супеси пылеватые от пластичных до твердых с дресвой и щебнем	Средняя плотность, прочность, сжимаемость.	Возможны неравнмерные осадки
ed QII- IV	60	Грунт дресвяный с песчаным заполнителем	Высокая плотность, прочность, слабая и средняя сжимаемость	Осложнений не предвидится, возможны неравномерные осадки.
eN-Q	62 б	Пески дресвянистые, реже крупные и средней крупности, плотные		
eN-Q	61 в	Грунт дресвяный с супесчаным и суглинистым заполнителем	Наличие глинистого заполнителя, средняя плотность, прочность, сжимаемость.	Пучинисты при промерзании, возможны неравномерные осадки.
eN-Q	61 а	Суглинки легкие пылеватые от мягкопластичных до твердых с дресвой и щебнем	Средняя плотность, прочность, средняя и повышенная сжимаемость.	Возможно оплывание в откосах, слабо пучинисты при промерзании, возможны неравномерные осадки.

4.4 Тектоника и трещиноватость участка гидроузла

Район гидроузла находится в пределах единого тектонического блока. Разрывные нарушения, выделенные в нем, подразделяются в зависимости от мощности, величины зоны выветривания, протяженности согласно СНиП 2.02.02-85 на зоны III, IV и более высоких порядков. На участке размещения основных сооружений гидроузла зафиксировано 22 зоны и крупные тектонические трещины.



Условные обозначения:

	Кольцевая зона внешнего тектонического обрамления меловой вулканотектонической структуры (нарушения II порядка)
	Зоны Туранских разломов. (нарушения I порядка)
	Региональная зона сочленения Туранского блока Буреинского срединного гранитного массива и Зее-Буреинской впадины (нарушения I порядка)
	Разрывные нарушения сбросового характера
	Прочие разрывные нарушения (III порядка)
	Жерловины вулканов
	Створ Нижне-Бурейского гидроузла

Рис. 4.2 Структурно-тектоническая схема района Нижне-Бурейского гидроузла;

автор В.И. Пилипенко

Непосредственно на участке размещения основных сооружений гидроузла наиболее существенным является тектоническое нарушение, зафиксированное в устьевой части крупного правобережного лога, по которому течет руч. Чертик (зона IУ порядка). Простираение этого нарушения близко к меридиональному, падение крутое. У правого берега оно проходит в 200 м ниже оси плотины, близко от краевой части бетонных сооружений, пересекая основание земляной плотины. Это нарушение разделяет рассматриваемый блок на два участка – восточный (выше по течению) и западный. В породах восточного блока, где располагается плотина, наиболее развита крутопадающая трещиноватость северо-восточного направления (Технический отчет..., 2008).

Существенное нарушение ССЗ простираения (IV порядка), но меньшее по протяженности и по мощности, прослеживается в 175 м выше створа (восточный участок).

Между этими двумя нарушениями, как в русле (по геофизическим данным и скважинным), так и на берегах зафиксирован ряд тектонических зон и крупных тектонических трещин (IV и V порядков) северо-восточного простираения, которые на данном участке преобладают.

Основные тектонические зоны, характеризующиеся одинаковыми элементами залегания, могут рассматриваться как нарушения одной системы.

Критерием оценки прочности и трещиноватости пород является выход керна. По материалам бурения был сделан вывод о том, что массив левого берега более ослаблен вторичными процессами.

Скальные породы в русловой части долины характеризуются более высоким процентом выхода керна и более крупным размером отдельных блоков, чем породы береговых примыканий. Это объясняется меньшей мощностью зоны поверхностного выветривания в днище долины, нежели в берегах.

Кроме того, об оптимальном выборе местоположения бетонных сооружений оказывает то, что скальные породы основания проектируемых бетонных сооружений более сохранны, чем в основании земляных сооружений (Технический отчет..., 2008).

Количественная характеристика сохранности скальных пород производилась путем применения показателя качества пород RQD, численно равный произведению величины выхода керна, выраженного в процентах (z), на отношение суммарной длины ненарушенных кусков керна, каждый из которых имеет длину не менее 10 см ($\sum L_i$) ко всей длине исследуемого керна (L) (формула 1):

$$RQD = Z \frac{(\sum L_i)}{L} \quad (1)$$

Согласно величине показателя RQD сохранность массива на участке неодинакова. Наиболее сохранными являются породы прибрежной части правого берега и примыкающая к ним русловая часть, где RQD в среднем равен 65, т.е. качество пород под бетонными сооружениями выше, чем в основании земляной русловой плотины.

Как видно на гистограммах распределения показателя качества пород (рис.4.3) скальные породы ниже зоны выветривания для всех участков имеют разное значение RQD от 10 до 95 при RQD mod -70, RQD ср.- 57, причем в районе бетонных сооружений они выше и составляют 80-65.

В пределах коры выветривания сохранность массива резко ухудшается, и значения RQD снижаются: RQD mod - 10, RQD ср.- 31, в пределах размещения бетонных сооружений, она выше и составляет RQD mod - 20, RQD ср.- 40.

Снижение сохранности пород наблюдается в зонах тектонических нарушений и примыкающих к ним интервалах: RQD mod - 20, RQD ср.- 32. Таким образом, использование показателя качества пород RQD коррелируется с результатами других видов исследований (в том числе геофизическими) и подтверждает оптимальное расположение бетонных сооружений правого берега (Технический отчет..., 2008).

Гистограммы распределения показателя качества пород (RQD) в гранитоидах:

- а) зоны выветривания
- б) зоны разгрузки
- в) тектонических зон

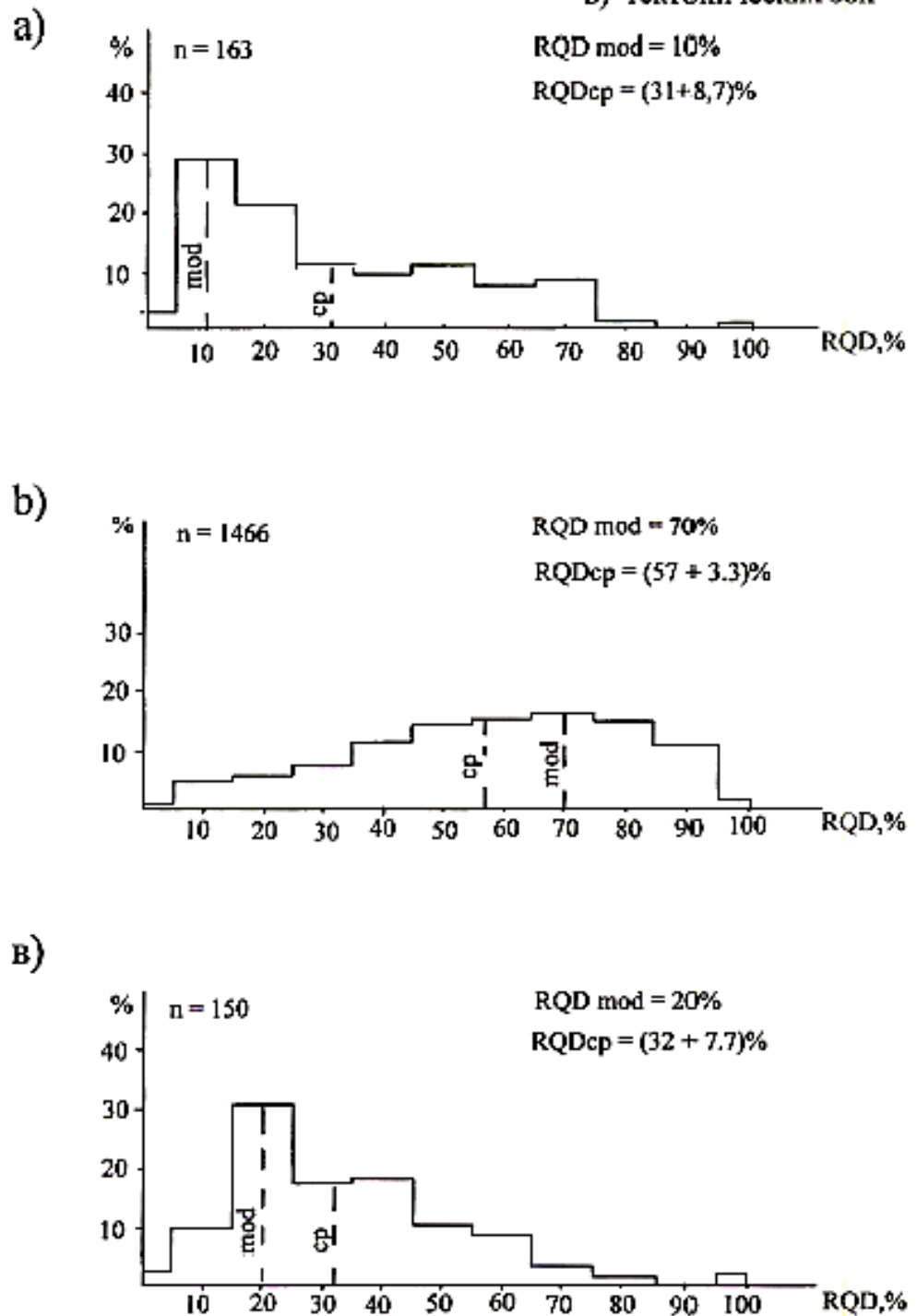


Рис.4.3 Гистограммы распределения показателя качества пород
(Технический отчет..., 2008).

4.5 Инженерно- геологические процессы

В районе гидроузла широко распространены такие природные явления, как выветривание пород, обрушение скальных блоков, камнепады и осыпи, которые в значительной степени влияют на инженерно-геологические условия района. На отдельных участках долины р. Буреи происходит подмыв берегов. На отдельных плоских приводораздельных поверхностях отмечаются отдельные заболоченные участки (Отчет об инженерно-геологических..., 1960).

Климат является одним из основных факторов, определяющих инженерно-геологические условия региона. С этим связано развитие геологических процессов, годовой сток, режим рек, и, следовательно, характер осадконакопления. Выветривание пород, обусловленное, главным образом, резкими перепадами температуры, интенсивными осадками в летний период и бесснежными зимами, приводят к нарушению монолитности пород, к увеличению трещиноватости, снижению их механической прочности и к полной их дезинтеграции в приповерхностных частях.

Трещины в зоне интенсивного выветривания расширены, выполнены дресвяно-суглинистым материалом. Мощность зоны интенсивного выветривания изменяется в зависимости от состава пород скального массива, его структурно-тектонических особенностей рельефа поверхности. Линейно вытянутые карманообразные углубления зоны выветривания отмечаются по простиранию тектонических зон, где породы интенсивно раздроблены и изменены.

Возможно, обрушение отдельных скальных блоков при производстве земельно-скальных работ при строительстве на склоне дорог. При обводнении основания склона в результате наполнения водохранилища не исключено оползание небольших масс делювиального покрова в воду со склонов (Отчет об инженерно-геологических..., 1960).

В нижнем бьефе на правом и левом берегу р. Бурея наблюдается подмыв уступа высокой поймы и первой надпойменной террасы. На выровненных участках водоразделов, надпойменных террас и в верховьях логов наблюдается заболачивание. Болотные образования, мощностью 1-3 м, представлены торфом и заторфованными суглинками.

В связи со строительством новой ГЭС в дальнейшем неизбежно будет происходить переработка берегов реки и изменение геоморфологии в районе работ.

Все эти физико-геологические процессы в большей или меньшей степени влияют на инженерно-геологические условия строительства гидроузла Нижне-Бурейской ГЭС (Отчет об инженерно-геологических..., 1960).

4.6 Сейсмичность участка гидроузла

Район расположения основных сооружений Нижне-Бурейской ГЭС характеризуется относительно низкой современной сейсмической активностью. Максимальные воздействия от известных землетрясений за весь период наблюдений не превышали 4 баллов (Отчет 1351, 2010).

Инструментально зафиксированные сильные землетрясения и палеосейсмодислокации пространственно приурочены к зонам региональных разломов, рассматриваемым как основные сейсмогенерирующие структуры, воздействия на которых необходимо учитывать при оценке сейсмостойкости основных сооружений.

Максимальные сейсмические воздействия для периода повторяемости 1 раз в 100 лет на грунтах II категории (в соответствии с таблицей 1 СНиП II-7-81*) по сейсмическим свойствам без учета инженерно-геологических условий и рельефа на площадке основных сооружений, возможны из зоны Среднебурейского разлома и могут составить около 7 баллов, а для периода повторяемости 1 раз в 10 000 лет – также из Среднебурейской зоны разлома – 8 баллов. При возникновении землетрясения на уровне рассеянной сейсмичности непосредственно под основными сооружениями возможны воздействия силой 7 баллов для периода повторяемости 1 раз в 100 лет и 8 баллов для периода повторяемости 1 раз в 10 000 лет (Отчет 1351, 2010).

В соответствии с требованиями СНиП II-7-81* был разработан план локальной сети сейсмологических наблюдений (ЛСС).

Проектируемая локальная сейсмологическая сеть, обеспечивающая регистрацию сейсмических событий на участке основных сооружений и водохранилища в зоне радиусом 150 км, предусматривает (Отчет 1351, 2010):

- 1) слежение за сейсмическим режимом в районе Нижне-Бурейской ГЭС и динамической сейсмичностью в сейсмоактивных зонах, определяющих уровень сейсмической опасности объекта;
- 2) оперативный анализ амплитудно-частотных характеристик сейсмических воздействий при землетрясениях из определенных сейсмоактивных зон и от ближайших промышленных взрывов;
- 3) оценку влияния наполнения и сработки водохранилища на изменение сейсмического режима (наведенная сейсмичность).

Таким образом, проектируемая сеть цифровых сейсмостанций локального сейсмического мониторинга позволит фиксировать сейсмические события и определять их координаты и глубину на участке основных сооружений и в зоне водохранилища.

5. ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫЙ ЭЛЕМЕНТ В ТЕЛЕ ПЕРЕМЫЧКИ КОТЛОВАНА ВЫПОЛНЕННЫЙ СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ»

5.1 Применение грунтоцементных конструкций в гидротехническом строительстве

В настоящее время одним из наиболее эффективных способов перекрытия фильтрационных потоков в проницаемых грунтах основания или тела плотин, наравне с традиционно применяемыми цементационными и инъекционными завесами, является устройство зубьев-стенок или диафрагм-стенок из грунтоцементной смеси, выполняемых методом «стена в грунте». Такое техническое решение очень эффективно, так как позволяет надежно перекрыть фильтрационный поток благодаря заполнению таких стенок материалами с низкими коэффициентами фильтрации и контролировать качество производимых работ (Радченко, 2012).

Грунтоцемент как материал для строительства был создан в США в начале 20-ых гг. прошлого века с целью замены гравийно-галечниковых грунтов при строительстве автодорог. Первоначальный состав грунтоцемента представлял собой смесь грунта, включавшего определенные фракции песка и гравия, портландцемент и воду. После твердения такая смесь превращалась в плотный, прочный, относительно малопроницаемый эрозионно-стойкий материал (Саинов, 2014).

В гидротехническом строительстве грунтоцементные конструкции, в качестве противофильтрационных элементов (ПФЭ), начали применять, прежде всего, для предотвращения фильтрации в основаниях плотин. Это стало возможным благодаря внедрению в практику строительства метода «стены в грунте» в результате разработки конструкции и производства специальных установок для проходки глубоких скважин и траншей. Кроме того, к тому времени освоили тиксотропные жидкие составы, которые противодействовали обрушению грунтовых стенок при проходке глубоких выемок. Первую такую «стенку в грунте» возвели в Калифорнии (США) в 1948 г.

В настоящее время противофильтрационные завесы, созданные по технологии «стены в грунте», широко применяются в мировом гидротехническом строительстве. Например, плотины Керхе (Иран), Сялонди (Китай), Юмагузинского и Ирганайского гидроузлов (Россия), Сангтудинского гидроузла (Таджикистан), в которых «стена в грунте» применена для предотвращения фильтрации в основании гидротехнических сооружений (Саинов, 2014).

С момента появления метода «стена в грунте» и до настоящего времени основные принципы выполнения работ существенно не изменились. Грунтоцементные стенки и в настоящее время выполняют поэлементно, отдельными круглыми скважинами или панелями. При этом панель может включать траншеи, выполняемые за одну, две и даже три проходки. После выемки первичной скважины (панели), заполняют грунтоцементной смесью и, после твердения, пропускают очередную скважину (панель), далее - заполняют следующую за ней. После этого производят выемку и бетонирование пропущенной, промежуточной скважины (панели) (рис. 1.5) (Разработка конструкции..., 2016).

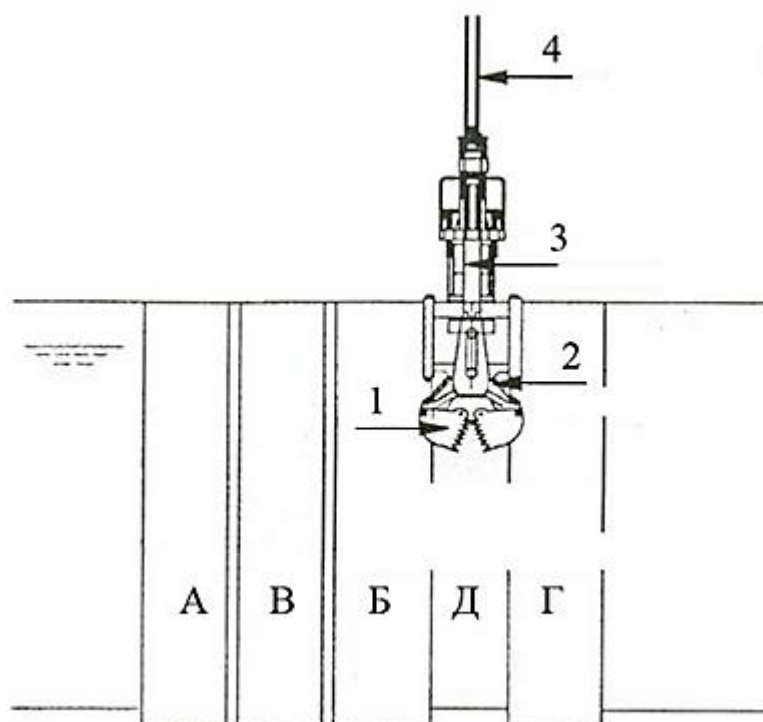


Рис. 1.5 Общепринятая технологическая схема выполнения панелей для стенок диафрагм: А, Б, В, Г, Д – очередность выемки панелей; 1 – ковш грейфера; 2 – гидравлические домкраты; 3 – опорная конструкция; 4 – троса подвески и гидравлические шланги (Разработка конструкции..., 2016)

В СССР эта технология была впервые применена именно в гидротехническом строительстве трестом «Гидроспецстрой». В 1959 - 1960 гг. способом «стена в грунте» был возведен противофильтрационный элемент в песчано-галечниковом основании Чурубай-Нуринской плотины (Казахстан). Первая «стена в грунте» выполнялась методом буронабивных свай на глубину до 40 м, ее протяженность составила 950 м. Уже тогда сваи стали выполнять не из обычного, а из суглинисто-цементного бетона. На Чурубай-Нуринской плотине также впервые был опробован и другой способ создания «стены в грунте» — траншейный. В настоящее время способы буронабивных

свай и траншейный стали классическими технологиями создания «стены в грунте». В последнее время активно стала использоваться и другая технология — струйная цементация (Сангтудинская ГЭС) (Радченко, 2012).

Примеров применения грунтоцементных стенок-диафрагм, выполненных методом «стена в грунте» в качестве ПФЭ, очень мало, все они относятся к малым плотинам (до 15 м по высоте) из-за отсутствия горизонтальные перемещений, а градиенты напора и скорости фильтрации достаточно малы. Внедрение в отечественную практику гидротехнического строительства стенок-диафрагм в качестве ПФЭ высоких плотин объясняются рядом причин. В первую очередь, они связаны с недостаточной отработанностью технологических приемов строительства, отсутствием новейших систем наблюдения за положением бурового оборудования в пространстве. Кроме того, отсутствуют современные методы эксплуатационного мониторинга за состоянием стенок-диафрагм (Радченко, 2012).

Грунтоцементные стенки-диафрагмы, выполняемые методом «стена в грунте», применяют также при ремонте плотин в случае локальных нарушений фильтрационной прочности в грунтах их тел и оснований. Например, если в процессе эксплуатации плотин возникают различные фильтрационные деформации, такие как суффозия, фильтрационный выпор, кольматаж, контактный размыв и т.д.

Многочисленные исследования показали, что для надежной работы «стен в грунте» необходимо, чтобы материал по своим деформационным свойствам максимально приближался к аналогичным свойствам окружающего грунта. В противном случае, при большой жесткости материала стена будет работать как концентратор напряжений, своего рода «свая наоборот». Окружающий ее грунт при осадках будет «зависать» на буронабивной стене, передавая ей сжимающие усилия.

Подходящим материалом для создания «стены в грунте» может являться глиноцементобетон — продукт твердения смеси бетона и бентонитовой глины (Саинов, 2014).

5.2 Применение глиноцементобетона при возведении «стены в грунте» перемычки котлована бетонных сооружений

Ограждение котлована основных бетонных сооружений Нижне-Бурейской ГЭС производилось путем отсыпки высоководных верховой, продольной и низовой перемычек. Длина перемычек составила около 1074 м. Материал перемычек — гравийно-галечниковый грунт косы, расположенной в 0,5 км южнее с. Николаевка и гравийно-галечниковые грунты разбираемых участков, отсыпанных в зимний

строительный период 2011-2012 гг. первоочередных перемычек. Противофильтрационный элемент - "стена в грунте" из глиноцементобетона (ГЦБ) с заглублением в зону скальных выветрелых грунтов, представленных гранитами, гранитоидами и диоритами (Отчет 1035-М1-040-От, 2014).

Расчетный расход р. Бурей обеспеченностью 10% составляет 7 720 м³/с. Максимальный напор на перемычки - 15 м.

Работы по сооружению стены в грунте из глиноцементобетона, суммарной длиной 16324,15 м, впервые были выполнены за осенне-зимний период в суровых климатических условиях Дальнего Востока: ночная температура наружного воздуха опускалась до минус 45° С. Всего пробурено 1181 скважина, объем уложенного глиноцементобетона составил 15040,8 м³.

На НБГЭС была разработана специальная рецептура приготовления смеси глиноцементобетона (Технические указания 1035-М1-016-ТУ ООО «Гидроспецпроект», 2013). В связи с отставанием от директивного графика работ по отсыпке перемычек, летне-осенний период для возведения ПФЭ был упущен, и поэтому для заполнения буронабивных скважин, была разработана глиноцементобетонная смесь с противоморозной добавкой (NaCl), для работ, проводимых в период с отрицательными температурами наружного воздуха.

Проектный состав для глиноцементобетона при отрицательных температурах приведен (отчет 1035-М1-018-От Гидроспецпроекта) в таблице 4, технологические характеристики подобранных составов указаны в таблице 3.

Таблица 3. Технологические характеристики состава глиноцементобетона

Плотность, г/см ³	Подвижность по осадке нормального конуса ГОСТ 7473-2010, см	Прочность образцов при сжатии, при t=20 °С, МПа		Модуль деформации на 60сут, МПа
		28сут	60сут	
1,99-2,02	19-22	1,5-2,9	2,06	60-90

Требования к величине угла внутреннего трения, пределу прочности при срезе, объемному весу и коэффициенту фильтрации глиноцементобетона «Техническим заданием перемычки Нижне-Бурейской ГЭС» не нормировались.

Таблица 4. Состав глиноцементобетона с расходом на 1 м³ смеси
(Технические указания..., 2013)

Наименование компонента	Содержание компонентов
Портландцемент марки М400	170 кг
Бентонитовый глинопорошок марки ПБН (с учетом W=10%)	193 кг
Песок М _к =2,53 (с учетом W=4%)	579 кг
Щебень фракции 5-20 мм	638 кг
Каменная соль NaCl	37 кг
Вода	377 л
Лигносульфонат (ЛСТП)	1,0 кг
Полипропиленовая фибра ВСМ-II-18	0,9 кг
Пластификатор С-3 (вводится только в случаях потери композитной смесью требуемой подвижности)	1,0 кг

Исследования состояния и свойств глиноцементобетонных (ГЦБ) свай, используемых в качестве противофильтрационного элемента по периметру перемишки котлована НБГЭС, проводятся с апреля 2014 года. Работы осуществлялись представителями ОАО «ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева». Данные приводятся из технического отчета «Научно-техническое сопровождение строительства НБГЭС».

Следует отметить, что специальных нормативов для работ с ГЦБ смесью пока не предусмотрено, поэтому используются стандартные инженерно-геологические методики такие как:

- ГОСТ 5180-84 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик
- ГОСТ 12248-2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости
- ГОСТ 25584-90 Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации
- ГОСТ 26423-85 Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки

Исследование ПФЭ строительного котлована включало три этапа:

- 1) полевые работы (бурение скважин, визуальный осмотр монолитов, опытно-фильтрационные работы);
- 2) лабораторные исследования (определение физико-механических характеристик, исследование компонентного состава);
- 3) камеральная обработка данных.

Полевые работы состояли из бурения скважин в теле ПФЭ с отбором проб для последующих лабораторных исследований и выполнения полевых опытно-

фильтрационных работ. В общей сложности было пробурено 7 скважин, глубиной от 4 м до 10,9 м.

Список пробуренных свай для изучения состава ГЦБ в апреле 2014 года, их параметры и местоположение вдоль гребня перемычки представлены в таблице 5 (Отчет 1035-М1-040-Отч, 2014). Кроме того, осенью 2015 года было пробурено еще 6 скважин в ходе дополнительных работ по исследованию материала ПФЭ перемычки (таблица 6) (Разработка конструкции..., 2016).

Таблица 5. Ведомость скважин, пробуренных в ходе работ 2014 года

Номер скважины	Расположение	Глубина, м	Дата бурения
3	Низовая перемычка	4	28.04.2014
3д		10,5	28.04.2014
12		9,9	29.04.2014
328		7,0	29.04.2014
352		10,0	29.04.2014
396	Продольная перемычка	10,0	30.04.2014
868	Низовая перемычка	10,9	30.04.2014

Таблица 6. Ведомость скважин, пробуренных в ходе работ 2015 года

Номер скважины	Расположение	Глубина, м	Зона отбора	Дата бурения
3д	Верховая перемычка	3,0-3,25	сухая	14.10.2015
		6,75-6,86	переходная	14.10.2015
28	Верховая перемычка	0,6-0,85	сухая	15.10.2015
		6,0-6,28	переходная	15.10.2015
63/62	Верховая перемычка	0,86-1,1	сухая	21.10.2015
		5,5-5,9	переходная	21.10.2015
396	Продольная перемычка	1,2-1,4	сухая	20.10.2015
		3,0-3,2	переходная	20.10.2015

При отборе проб из пробуренных скважин выяснилось, что материал, оказался крайне неустойчив к механическому воздействию водной составляющей. По результатам визуальных наблюдений в процессе бурения свай, ГЦБ представлял собой переувлажненный пластичный материал серого цвета с включением гравия и щебня, который легко поддавался деформации (фото 5.6). Отмечается мягкопластичное

состояние, трещиноватость материала. Образцы без усилий разламываются руками, режутся ножом. Встречаются сцементированные разности, в основном в центральной части образцов, чаще наблюдается текучее состояние материала (Отчет 1035-М1-040-Отч, 2014). Кроме того, многие образцы имели скопления компонентов смеси, что свидетельствует о плохом перемешивании во время производства работ (фото 5.7, 5.8).



Фото 5.6 Материал ГЦБ из сваи № 352 (Отчет 1035-М1-040-Отч, 2014)



Фото 5.7 Песчаные прослои в толще ГЦБ, по которым происходит расслоение образцов (Отчет 1035-М1-040-Отч, 2014)



Фото 5.8 Скопление полипропиленовой фибры ВСМ-II-18
(Отчет 1035-М1-040-Отч, 2014)

Опытно-фильтрационные работы

Опытно-фильтрационные работы заключались в определении коэффициента фильтрации в теле и на стыке свай, выполненных из ГЦБ, и по глубине свай. По результатам проведения опытных наливов в скважины (экспресс-опробование) не отмечено существенной разницы в показателях коэффициента фильтрации по глубине (коэффициенты фильтрации находятся в пределах $4,0 \cdot 10^{-5} - 8,0 \cdot 10^{-3}$ м/сут.). Для "сухой зоны" коэффициент фильтрации составил $4,5 \cdot 10^{-4}$ м/сут, а для "зоны переменного уровня воды" - $1,5 \cdot 10^{-4}$ м/сут. Однако, отмечено увеличение фильтрации в зоне стыка двух свай, где коэффициент фильтрации увеличился до $6,0-8,0 \cdot 10^{-3}$ м/сут. (Отчет 1035-М1-040-Отч, 2014).

Определение суффозионно-фильтрационных свойств материала ГЦБ
выполнялось по нескольким методикам на образцах нарушенного и ненарушенного сложения. Коэффициент фильтрации в образцах нарушенного сложения изменялся от $2,9 \cdot 10^{-3}$ до $7,94 \cdot 10^{-1}$ м/сут, а для монолитов естественного сложения составил $2,69 \cdot 10^{-3} - 1,1 \cdot 10^{-1}$ м/сут. Существенной разницы в варьировании коэффициента фильтрации по глубине не отмечено. Согласно классификации материал относится к слабоводопроницаемому и водопроницаемому (в зависимости от коэффициента фильтрации) (Отчет 1035-М1-040-Отч, 2014).

По результатам испытаний на устойчивость материалам к суффозионным процессам выявлена их устойчивость даже при критических градиентах напора ($I=43$).

По отношению к эрозионным процессам материал отмечается как "устойчивый к размыву" при скорости потока до 230 см/с и градиенте напора $I=10$.

При определении водостойкости материала ГЦБ в испытаниях на размокаемость для "мокрой зоны" установлена устойчивость к размоканию, а для "зоны переменного уровня воды" образцы отмечены как водостойкие, так и размокаемые (Отчет 1035-М1-040-Отч, 2014).

5.3 Лабораторное определение физико-механических характеристик монолитов ГЦБ из скважин перемычки котлована

Согласно данным отчета (Отчет 1035-М1-040-Отч, 2014) лабораторные исследования образцов ГЦБ по определению физических свойств материала подтвердили неоднородность плотности, влажности и консистенции.

По результатам выполненных работ естественная плотность образцов в "сухой зоне" варьировала от 1,81 до 2,03 г/см³ при изменении влажности от 22,1% до 29,1%. Для зоны "переменного уровня воды" характерны показатели плотности 1,92-2,12 г/см³ при влажности 20,5-32,9%, а для "мокрой зоны" естественная плотность составила 1,76-2,14 г/см³ при варьировании влажности от 21,4% до 22,6%.

Часть образцов ГЦБ проявляло глинистые свойства. Так, определение числа пластичности и консистенции по двум образцам, отобранным из скважин 369 и 352, позволили определить их как суглинок легкий твердый и супесь твердая соответственно. В ходе лабораторных испытаний также отмечается разброс показателей физических свойств в пределах одного образца.

Определение показателей механических свойств материала ГЦБ производилось с использованием приборов одноосного и трехосного сжатия. Максимальная нормативная прочность на одноосное сжатие отмечена в "мокрой зоне" где R_c составило 0,149 МПа. В "зоне переменного уровня воды" нормативное значение $R_c=0,131$ МПа, а в "сухой" - 0,107 МПа.

Нормативные значения показателей прочности материала (c , кПа и ϕ , град.) для "сухой зоны" составили 33,4° и 101 кПа, для "зоны переменного уровня воды" $c=92$ кПа при $\phi=36,6^\circ$, а для "мокрой зоны" - $c=142$ кПа при $\phi=32,2^\circ$.

Исследования изменения деформационных характеристик материала, выражаемого величиной модуля общей деформации (E , МПа) в пределах выделенных зон, выявили максимальные значения в "зоне переменного уровня воды", где $E_n=26,3$

МПа. Для "сухой зоны" нормативное значение модуля деформации составило 21,9 МПа, а для "мокрой зоны" - 25,1 МПа (Отчет 1035-М1-040-Отч, 2014).

На основании результатов полевых и лабораторных исследований "ВНИИГ им. Веденеева", есть возможность сравнить характеристики ГЦБ с основными технологическими параметрами материала, указанными в «Техническом задании перемишки Нижне-Бурейской ГЭС» (таблица 7).

Таблица 7. Сопоставление проектных значений показателей физико-механических характеристик с выявленными

Проектные значения согласно техническому заданию	Значения полученные в ходе испытаний ГЦБ 2014-15 г
1) Плотность образцов	
1,99-2,02 г/см³	1,76-2,14 г/см³
2) Величина прочности (на момент истечения более 60 сут с момента закладки материала)	
2,06 МПа	0,129 МПа
3) Модуль деформации	
60-90 МПа	24,4 МПа

Таким образом, материал ГЦБ, используемый в качестве противофильтрационной завесы в теле перемишки котлована основных сооружений Нижне-Бурейской ГЭС согласно визуальным, полевым и лабораторным исследованиям не соответствует проектным данным, предусмотренным Техническим заданием (Отчет 1035-М1-040-Отч, 2014).

5.4 Исследование ГЦБ по эталонным образцам

Для выявления причин несоответствия физико-механических характеристик, полученных по выбуренным образцам и показателям, указанным в Техническом задании были выполнены следующие лабораторные исследования ГЦБ. В ходе эксперимента по приготовлению глиноцементобетонной смеси согласно рецептуре "Гидроспецпроекта" (таблица 5.2) в лаборатории фильтрации ВНИИГ им. Веденеева были изготовлены образцы ГЦБ с искусственным моделированием различных условий:

Вариации добавления морозостойкой добавки NaCl:

- а) в растворе;
- б) в кристаллах;
- в) без добавления NaCl.

Влажность при твердении образцов:

- а) при комнатной влажности;
- б) с моделированием влажной среды (в окружении увлажненного песка).

Технология приготовления эталонных образцов была максимально приближена к разработанной «Гидроспецпроект» (Технические указания 1035-М1-016-ТУ, 2013). Приготовленные образцы быстро набирали прочность (фото 5.9, 5.10).



Фото 5.9 Образец ГЦБ на вторые сутки твердения при комнатной влажности



Фото 5.10 Образец ГЦБ в окружении увлажненного песка.

Сравнивая лабораторный образец и монолит ГЦБ из скважин перемишки НБГЭС наглядно видна разница в консистенции материала. Лабораторные образцы плотные и не распадаются в руках.

Согласно техническим указаниям (Технические указания 1035-М1-016-ТУ, 2013) физико-механические характеристики ГЦБ определяются на сроке твердения в 28 и 120 суток. На данный момент получены результаты исследования образцов на сроке твердения в 28 суток. Прочность в условиях одноосного сжатия определялась на гидравлическом прессе ПСУ-15 (фото 5.11).



Фото 5.11 Гидравлический пресс ПСУ-15

По техническому заданию на 28^{ые} сутки плотность образцов должна варьировать в пределах от 1,99 до 2,02 г/см³, а прочность на одноосное сжатие составлять 1,5-2,9 МПа.

В таблице 8 приведены полученные физико-механические характеристики лабораторных образцов ГЦБ.

Таблица 8 Физико-механические характеристики эталонных образцов ГЦБ

Условие		влажность, %	ρ , г/см ³	R_c , Мпа
	среда			
без соли	сухая	5,5	1,79	1,45
			1,66	0,73
	влажная	21	2,09	3,12
			1,99	2,44
соль р-р	сухая	9,95	1,83	3,27
			1,89	3,06
	влажная	20	1,94	3,92
			2,05	3,14
соль гранулы	сухая	5,7	1,9	2,18
			1,96	2,39
	влажная	18	2,07	1,45
			2,07	2,75

Показатели плотности и прочности при условии одноосного сжатия (R_c) близки к закладываемым в техническом задании. При этом прочность значительно выше в условиях влажной среды, что объясняется использованием гидравлического портландцемента. Зависимость прочности ГЦБ от концентрации NaCl, способа внесения компонента (в сухом или растворенном состоянии) не наблюдается.

5.5 Исследование компонентного состава ГЦБ

С целью уточнения компонентного состава материала «стены в грунте» были проведены исследования химического состава водной вытяжки, приготовленной из глиноцементобетона. Работы проводились в лаборатории кафедры грунтоведения и инженерной геологии в 2015 г и в лаборатории фильтрации ВНИИГ им. Веденеева в 2016 г на основе проб из скважин, пробуренных в теле ПФЭ котлована Нижне-Бурейской ГЭС (табл. 5, 6).



Фото 5.13 ГЦБ из скважины 63/62

Последовательность работы включала следующие этапы:

- 1) дробление ГЦБ, удаление крупных включений;
- 2) растирание пробы в фарфоровой ступке пестиком;
- 3) просеивание через сито с диаметром 2 мм (фото 5.14);
- 4) взвешивание навески с точностью до 0,01г. и ее смешивание с дистиллированной водой в соотношении 1:4 согласно ГОСТ 26423-85;
- 5) после отстаивания с постоянным помешиванием приготовленная суспензия пропусклась через фильтры (фото 5.15);
- 6) в жидкой фазе после фильтрации определение химического состава водной вытяжки, которое производилось стандартными аналитическими методиками.



Фото 5.14 Тонкодисперсный порошок ГЦБ, удаленные крупные включения щебня



Фото 5.15 Фильтрация водной вытяжки

Химический анализ водной вытяжки ГЦБ показал существенные различия в компонентном составе, хотя, в соответствии с техническим заданием, состав смеси должен быть идентичен по всем скважинам.

В пробах отмечаются повышенные значения минерализации водных вытяжек, которые достигают значений от 2939 мг/л (скв. 328) до 4718 мг/л (скв. 396), что свидетельствует о неравномерности компонентного состава в исследуемых пробах (рис.5.1).

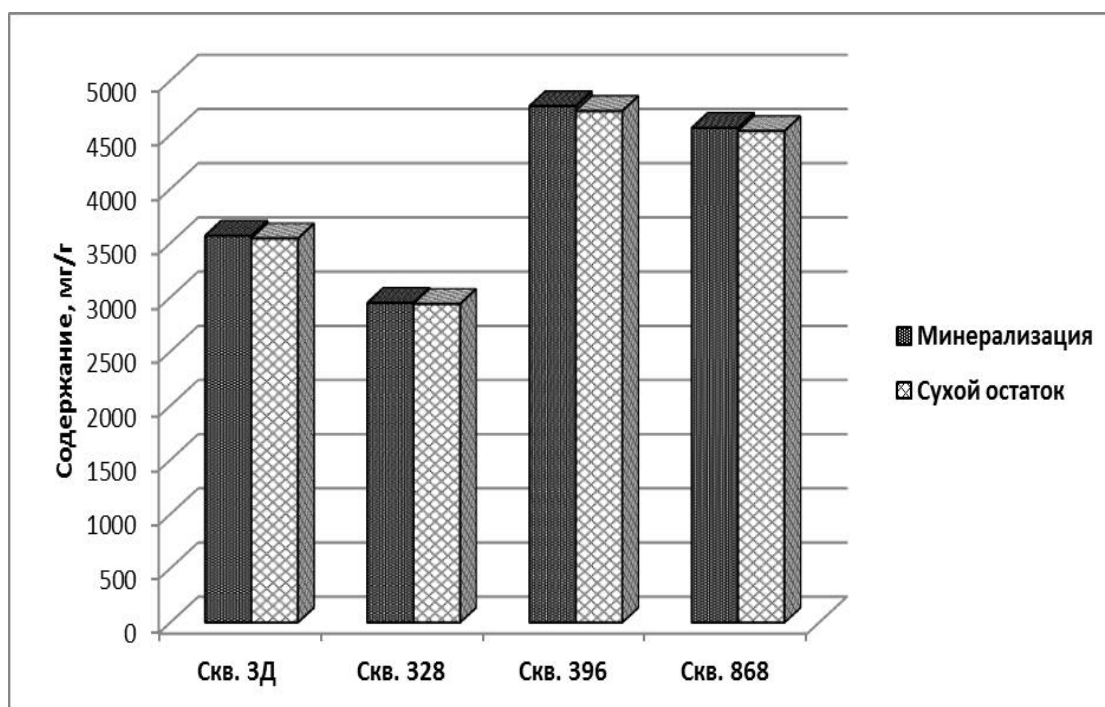


Рис.5.1 Гистограмма значения минерализации и содержания сухого остатка водных вытяжек ГЦБ

Химический анализ водных вытяжек выявил компоненты, свидетельствующие о выщелачивании цементной составляющей глиноцементобетона – щелочность, содержание ионов кальция, магния. Поскольку кальций и магний ионы в каждой из всех исследованных проб были тождественны, содержание магния во всех пробах, определяемое по разности жесткости и кальция, равнялось нулю. В окончательных результатах анализа этот компонент не рассматривается. Кроме того, определялся показатель щелочности водной вытяжки – рН (таблица 9).

Таблица 9. Результаты определения общей щелочности, рН, содержания ионов кальция в ГЦБ скважин перемишки

№ скважины	СУХАЯ ЗОНА			ПЕРЕХОДНАЯ ЗОНА		
	Общая щелочн.	Кальций	рН	Общая щелочн.	Кальций	рН
				мг-экв/л		
3Д	34,0	12,0	12,44	33,0	14,0	12,3
28	18,5	2,8	12,03	28,2	7,5	12,36
63/62	17,0	6,0	12,03	25,5	9,5	12,2
396				30,0	8,5	12,27

Приведенные данные свидетельствуют о том, что все полученные водные вытяжки имеют высокую щелочность с рН более 12, обусловленную расщелачиванием цементной составляющей глиноцементобетона, естественное для начальной стадии коррозии в мягкой (дистиллированной) воде. Стоит отметить резкое превышение практически во всех пробах мг-эквивалентного содержания общей щелочности (равной содержанию гидроксид-ионов) над мг-эквивалентным содержанием ионов кальция. Избыток гидроксид ионов обязательно должен быть связан с катионом, в качестве которого может выступать ион натрия, входящий в обменный комплекс бентонитовых глин.

Для сравнения показатель щелочности, рН и содержание ионов кальция определялись и в эталонных (лабораторных) образцах ГЦБ (таблица 10).

Таблица 10. Значение общей щелочности, рН, содержания ионов кальция в ГЦБ лабораторных образцов

Условие	Сухая среда			Влажная среда		
	Общая щелочность	Кальций	рН	Общая щелочность	Кальций	рН
	мг-экв/л			мг-экв/л		
Без соли	14,6	6,0	11,86	20,2	12,5	12,03
Раствор соли	16,4	7,0	11,87	20,5	9,0	12,07
Соль в гранулах	16,0	10,5	11,85	24,5	14,0	12,0

Также как и в исследовании образцов перемычки НБГЭС, в эксперименте с лабораторными образцами содержание гидроксид ионов в эквивалентном значении несравненно выше, чем ионов кальция. Это указывает на то, что гидроксиды щелочных металлов (скорее всего натрия) не привнесены из грунтовмещающей среды, а обменные процессы идут между компонентами глиноцементной смеси. Однако данная теория требует дальнейших исследований.

Содержание сульфатов для разных скважин различно. Сульфаты входят в состав лигносульфоната, который использовался для приготовления ГЦБ смеси в качестве пластификатора (рис.5.2).

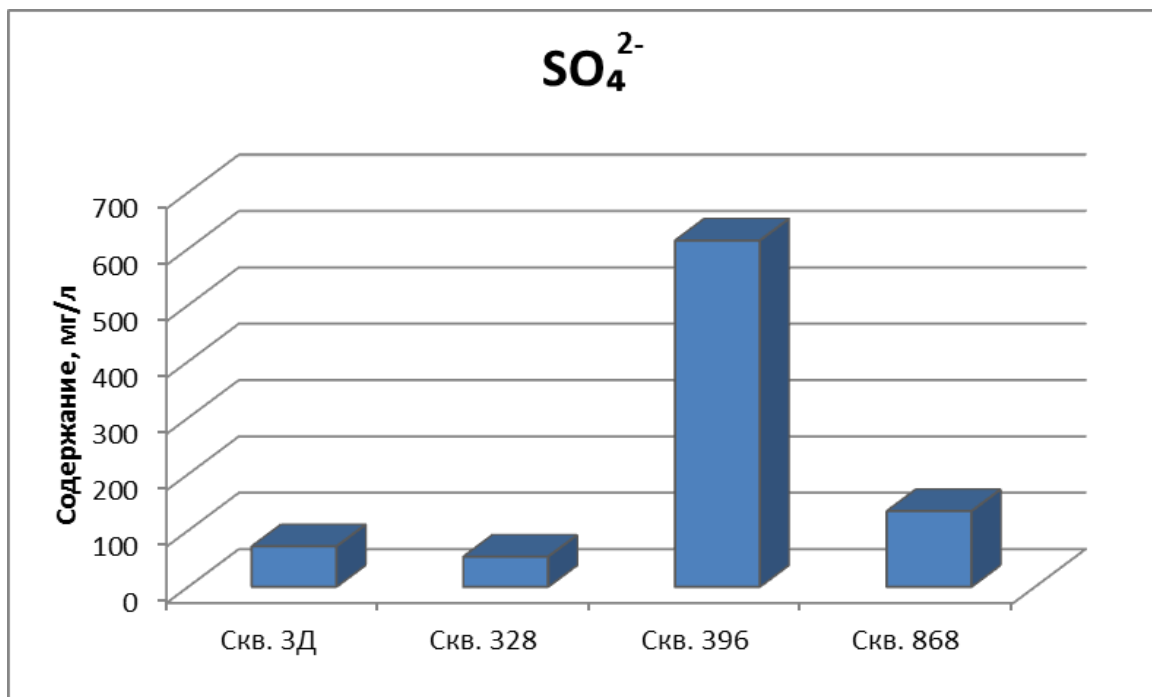


Рис. 5.2 Гистограмма содержания сульфатов водных вытяжек ГЦБ

В качестве морозостойкой добавки ГЦБ в зимнее время использовался технический хлористый натрий (NaCl), этим объясняется высокое содержание хлора в водной вытяжке (рис 5.3), которое также различается в пробах ГЦБ. Причина такого разброса, возможно, связана с достаточно легкой вымываемостью соли из ГЦБ материала, или же при укладке ГЦБ хлористый натрий добавляли в скважины неравномерно.

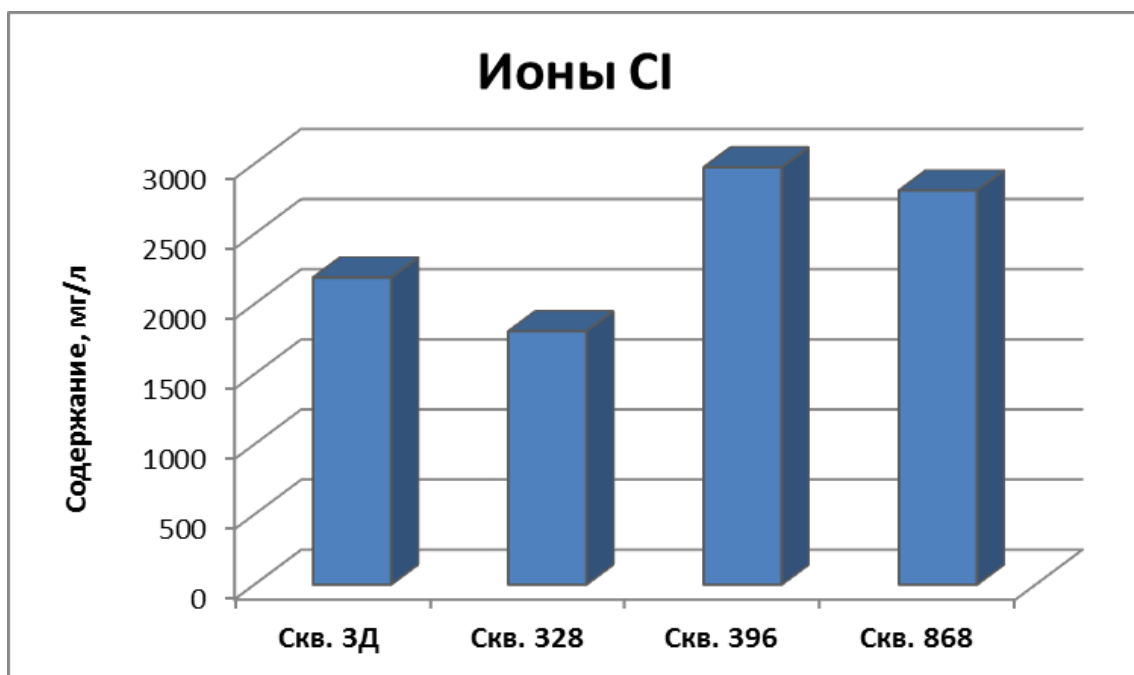


Рис. 5.3 Гистограмма содержания ионов хлора водных вытяжек ГЦБ

При доработке состава ГЦБ необходимо уделить внимание взаимодействию глин с солями. Материал в большом количестве содержит глинопорошок бентонитовой марки. Засоление глинистых пород (в данном случае из-за морозостойкой добавки) может отражаться на их свойствах и, прежде всего, на агрегатном состоянии глин.

По результатам многолетних исследований (Дашко и др.) доказано, что привносимый в породу ион Na^+ следует рассматривать как диспергатор, либо коагулянт. Соли одновалентных ионов при их содержании в количестве 1-2% действуют, в основном, как диспергаторы, при дальнейшем повышении их содержания оказывают коагулирующее действие (Дашко, 2015). А изменение агрегатного состояния глинистой породы оказывает влияние на ее фильтрационную способность, прочность и деформируемость. Коагулирующее действие солей в глинистых породах приводит к изменению геометрии порового пространства и увеличению коэффициента фильтрации. По исследованиям В.М. Гольдберга, В.М. Павилонского, проницаемость глинистых пород увеличивается в процессе их засоления из-за уменьшения толщины слоя связанной воды, вследствие чего наблюдается увеличение порового пространства, доступного для движения жидкости, но при этом не учитывается ведущий фактор - изменение агрегатного состояния пород.

Засоление пород приводит к росту их микро - и макротрещиноватости, что в наибольшей мере влияет на изменение коэффициента фильтрации (Дашко, 2015).

Агрегирование способствует постепенному снижению сцепления и повышению угла внутреннего трения» а диспергирование при прочих равных условиях, наоборот, приводит к повышению связности пород. Кроме того, необходимо отметить, что интенсивность влияния засоления на прочность и деформируемость глинистых пород возрастает при переходе от солей одновалентных ионов к двух- и трехвалентным (Дашко, 2015).

На содержание в воде органических и минеральных веществ указывает показатель перманганатной окисляемости (ПМО). Этот показатель отражает общую концентрацию органики в воде и варьирует от 13,76 $\text{мгO}_2/\text{л}$ до 17,28 $\text{мгO}_2/\text{л}$ (рис.5.4).

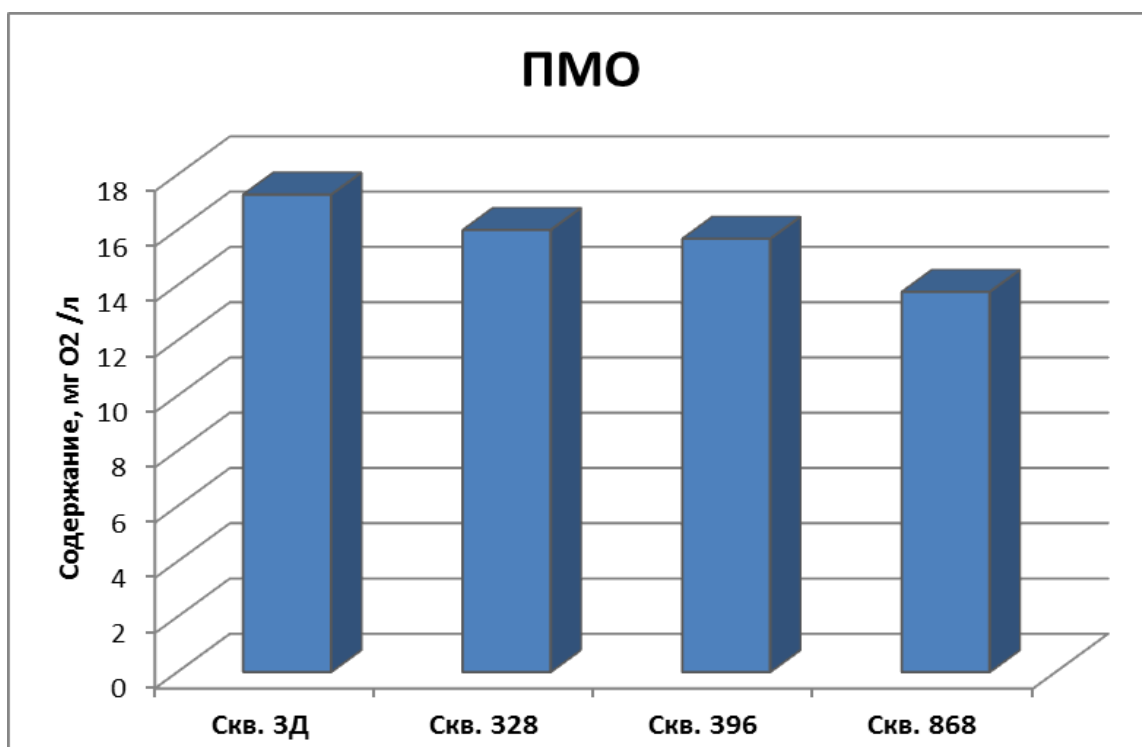


Рис.5.4 Гистограмма перманганатной окисляемости водных вытяжек ГЦБ

По результатам химического анализа водной вытяжки материала глиноцементобетона, используемого в качестве противофильтрационной завесы в теле перемычки котлована основных сооружений Нижне-Бурейской ГЭС, выявлена явная неоднородность компонентного состава смеси. Это свидетельствует о плохом барбатировании материала, о несоблюдении требований проектной технологии приготовления ГЦБ смеси.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В ходе выполнения работы был рассмотрен комплекс Бурейского каскада ГЭС. Детально изучены инженерно-геологические условия строительства будущей Нижне-Бурейской ГЭС и ее проектные решения.
2. Особое внимание уделяется конструкции земляной плотины, с обустройством «стены в грунте» в качестве ПФЭ.
3. В результате комплексных исследований физико-химических и физико-механических свойств материала глиноцементобетонной смеси противofильтрационного элемента в теле перемычек котлована основных бетонных сооружений Нижне-Бурейской ГЭС выявлены некоторые особенности материала ГЦБ.
4. На основании результатов исследования теоретического (научных статей, отчетов и книг) и практического материала, можно сделать вывод о том, что характеристики глиноцементобетонной смеси, разработанной для устройства ПФЭ, не всегда соответствуют техническому заданию. Консистенция ГЦБ в скважинах крайне неоднородна по компонентному составу. Это фиксируется как визуально (на основании отчета ВНИИГ им. Веденеева), так и в соотношении растворенных химических компонентов водных вытяжек ГЦБ разных скважин.
5. Также выявлены многочисленные дефекты противofильтрационного материала, возникшие из-за несоблюдения его проектной технологии приготовления. Кроме того, при составлении рецептуры не учитывалось влияние компонентов смеси друга на друга.
6. Согласно проектным решениям, возведение земляной плотины планируется с применением ГЦБ в качестве противofильтрационного элемента. Таким образом, состав глиноцементобетонной смеси необходимо скорректировать с учетом имеющихся исследований и на основе испытаний на опытных полигонах в совокупности с лабораторными исследованиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Книги:

1. Дашко Р.Э. Инженерно-геологический анализ и оценка водонасыщенных глинистых пород как основания сооружений. Санкт-Петербург: Институт «Геореконструкция», 2015, 346с.
2. Мордовин А.М. Годовой и сезонный сток рек бассейна Амура. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 1996, 231с.
3. Полянин В.С. Региональная геология. Казань: Казанский Государственный Университет, 2009, 87 с.
4. Соколов А.А. Гидрография СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1952, 472 с.
5. Чаповский Е. Г. Инженерная геология СССР., т. 4. Дальний Восток. М: Издательство Московского Университета, 1977, 491 с.

Статьи в журналах:

1. Радченко В.Г. Опыт возведения противofiltrационных устройств из грунтоцементных смесей // Гидротехническое строительство № 12, с. 46—54., 2012.
2. Саинов М.П. Оценка надежности диафрагмы из буронабивных свай в плотине средней высоты // Вестник МГСУ № 1, с.153—163, 2014.

Фондовые материалы:

1. Научный социально-экологический мониторинг зоны влияния Бурейского гидроузла. Сводный отчет по результатам мониторинга за 2003-2008 гг.
2. Нижне-Бурейская ГЭС на р. Бурее. Перемычки котлована основных бетонных сооружений. Технические указания 1035-М1-016-ТУ ООО «Гидроспецпроект», 2013 г.
3. Нижне-Бурейская ГЭС. Проект Нижне-Бурейской ГЭС с учетом оптимизации сметной стоимости гидроузла, включая водохранилище. Корректировка. Отчет 1351, 2010 г.
4. Отчет о геологическом строении бассейна среднего течения р. Буреи Молостовский Э.А., фонды ДВТГУ, 1958 г.
5. Отчет об инженерно-геологических работах, выполненных для обоснования схемы использования р. Буреи. Фонды Ленгидропроекта, 1960 г.
6. Проект нормативов допустимого воздействия (НДВ) по бассейну реки Амур: Бурья. Отчет 2012 г.

7. Противофильтрационный элемент, выполненный способом «стена в грунте» в теле и основании перемычек. Нижне-Бурейская ГЭС на р. Бурее. Перемычки котлована основных бетонных сооружений. Отчет 1035-М1-040-Отч 3 кн. ООО «Гидроспецпроект» 2014 г.

8. Разработка конструкции противофильтрационного элемента (ПФЭ) из глиноцементобетонных (ГЦБ) бурящихся свай для плотины из грунтовых материалов. Отчет ОАО «ВНИИГ им. В.Е. Веденеева», 2016 г.

9. Технический отчет об инженерно-геологических условиях строительства Нижне-Бурейской ГЭС. Фонды Ленгидропроекта, 2008.

Нормативные документы:

1. ГОСТ 25100-95 Грунты. Классификация
2. ГОСТ 26423-85 Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки
3. ГОСТ 5180-84 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик
4. ГОСТ 12248-2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости
5. ГОСТ 25584-90 Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации
6. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства
7. СНиП 2.02.02-85 Основания гидротехнических сооружений

Ресурсы сети Интернет:

1. <http://blog.rushydro.ru>
2. <http://www.burges.rushydro.ru>
3. <http://www.nbges.rushydro.ru>
4. <http://www.korenyukiu.livejournal.com>
5. <http://www.vsegei.com/ru/>